EN PARTENARIAT AVEC

Avec l'appui Technique du Laboratoire d'Énergies Renouvelables (LER/ESP/UCAD) et du PERACOD

Programme de Promotion de l'Electrification Rurale et de l'Approvisionnement durable en Combustibles Domestiques

SEMINAIRE DE RENFORCEMENT DE CAPACITE DE FORMATION EN ENERGIE RENOUVELABLE OPTION : SYSTEME HYBRIDE (SOLAIRE / DIESEL)

Du 24 au 28 Septembre 2007 à Ndangane (Îles du Saloum

PARTIE :
ENERGIES RENOUVELABLES

Contact

gsow@ucad.sn

syllaelhadji@yahoo.fr

ENERGIES RENOUVELABLES

I. Généralités sur les énergies renouvelables.

II. Energie éolienne : potentiel et conversion.

III. Energie photovoltaïque : potentiel et conversion.

ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables

Une énergie renouvelable (ER) est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à échelle humaine de temps. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique)

- Elles sont issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, des chutes d'eau, des marées ou encore des végétaux.
- Leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émission polluantes. Les ER sont au nombre de cinq.
- Toutes ces ressources peuvent être transformées en énergie directement utile à l'homme sous forme de chaleur, d'électricité ou de force mécanique

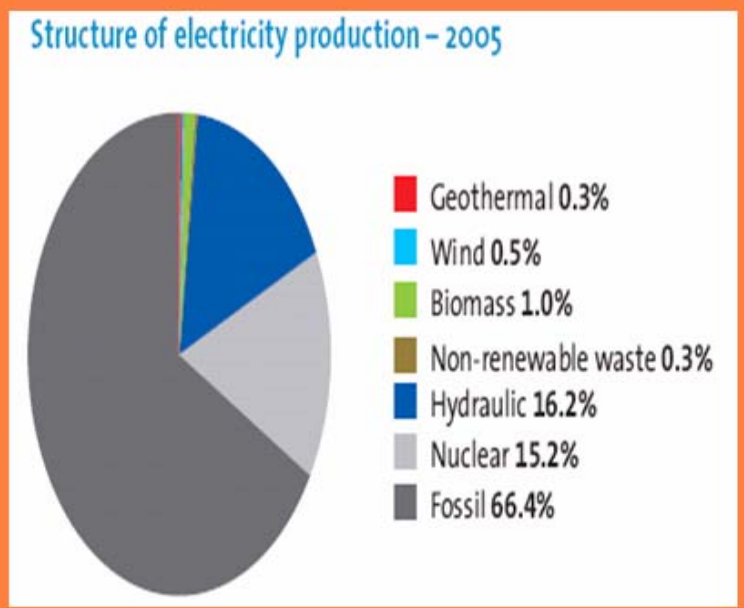
ENERGIES RENOUVELABLES

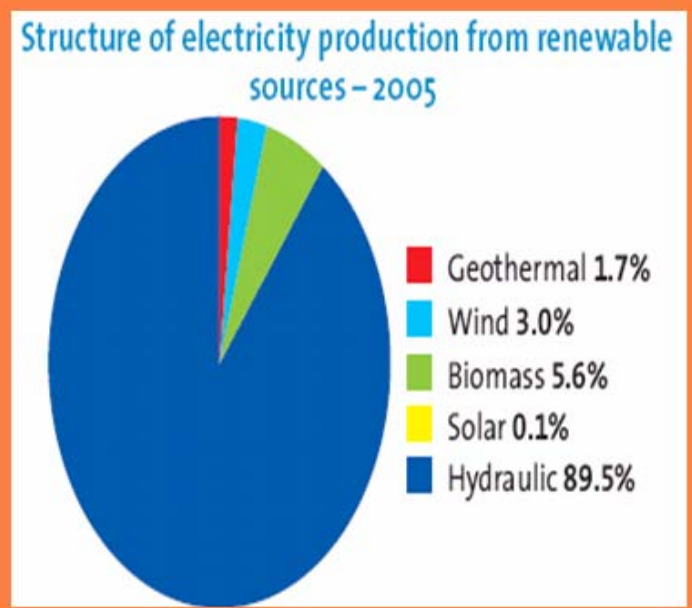
I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)

- Elles contribuent au développement durable et à la protection de l'environnement
- La croissance des ER a été forte au cours des 20 derniers années et va s'accélérer. En effet, outre les opinions publiques et la volonté politique des États, d'autres facteurs concourent à cette croissance, notamment la réduction des coûts qui permet la compétitivité des ER, et leurs évolutions du cadre réglementaire de l'énergie
- La production mondiale d'énergie est dominée par les centrales classiques avec plus de 80% tandis que les ER n'assurent que moins 20%.
- Conscient de la réserve limitée des combustibles (pétrole), les politiques ont prôné le développement des ER sachant qu'elles constituent la principale alternative pour assurer la relève dans le domaine de la production de l'énergie

ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)





Répartition de la production mondiale en énergie (source Observ'ER 2006)

ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)

World electricity production by source

TWh	1995	2002	2003	2004	2005	AAGR 95/05	GR 04/05
Geothermal	38,2	51.9	53.6	55.1	56.5	4.0%	2.5%
Wind	8.1	53.0	64.0	84.1	98.4	28.4%	17.0%
Biomass	104.8	148.2	162.2	176.6	183.4	5.8%	3.9%
solid biomass share	*85.3*	*110.0*	*118.2*	*131.4*	*134.9*	*4.7%*	*2.7%*
biogas share	*6.0*	*16.9*	*18.3*	*20.7*	*24.8*	*15.1%*	*19.7%*
liquid biomass share	–	*0.0*	*0.8*	*0.6*	*0.9*	*261.7%*	*69.5%*
municipal waste share	*13.4*	*21.3*	*25.0*	*24.0*	*22.8*	*5.5%*	*-4.7%*
Non-renewable waste	23.8	38.5	39.1	53.1	49.8	7.7%	-6.1%
industrial waste share	*10.8*	*19.0*	*17.0*	*29.7*	*27.6*	*9.8%*	*-7.1%*
municipal waste share	*12.9*	*19.6*	*22.1*	*23.3*	*22.2*	*5.6%*	*-4.8%*
Solar	0.735	1.969	2.793	3.244	4.373	19.5%	34.8%
Hydraulic	2,520.6	2,682.7	2,694.4	2,830.2	2,939.3	1.5%	3.9%
pumping storage share	*67.2*	*79.3*	*85.1*	*84.9*	*81.0*	*1.9%*	*-4.6%*
Marine energies	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	-0.6%	2.5%
Nuclear	2,332.0	2,660.9	2,635.4	2,746.7	2,763.8	1.7%	0.6%
Fossil	8,217.5	10,462.4	11,048.7	11,519.0	12,042.2	3.9%	4.5%
Total renewable	**2,672.9**	**2,938.3**	**2,977.6**	**3,149.8**	**3,282.5**	**2.1%**	**4.2%**
Total conventionnal	**10,573.2**	**13,161.9**	**13,723.3**	**14,318.7**	**14,855.8**	**3.5%**	**3.8%**
Total production	**13,246.2**	**16,100.2**	**16,700.9**	**17,468.5**	**18,138.3**	**3.2%**	**3.8%**
Renewable share	***20.2%***	***18.3%***	***17.8%***	***18.0%***	***18.1%***		

Copyright © 2006 – Observ'ER

ENERGIES RENOUVELABLES

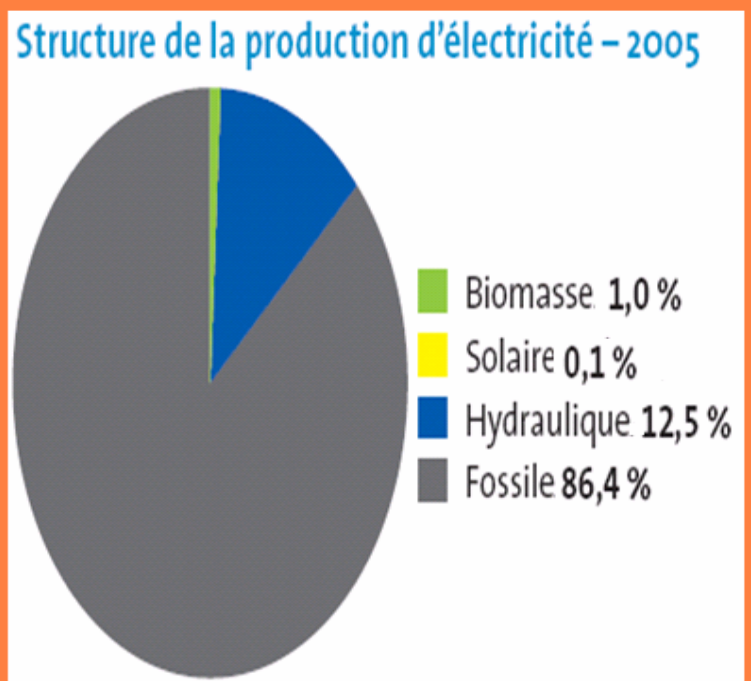
I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)

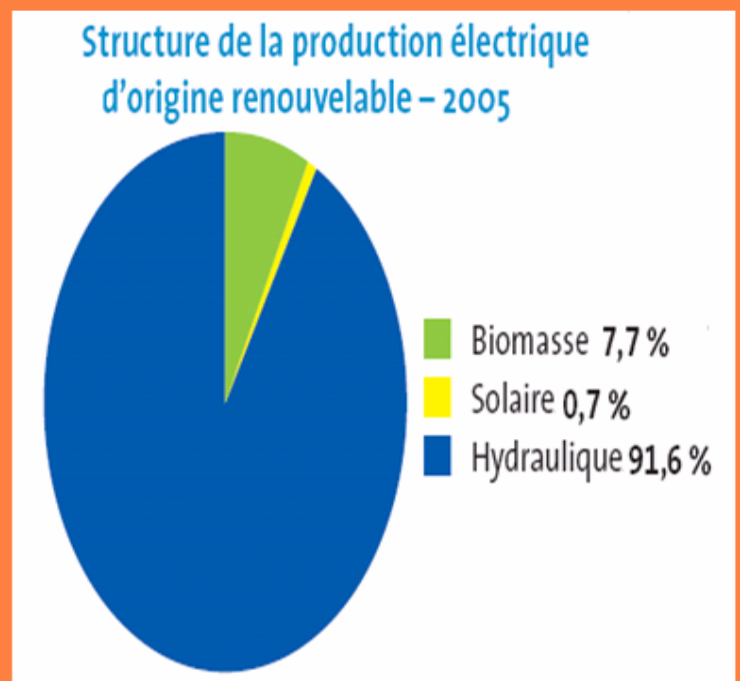
- *Le Sénégal* recourt majoritairement au thermique fossile pour assurer sa production électrique (86,4% des 2,6 TWh générés en 2005, soit 2.2 TWh). L'hydroélectricité fournit un complément de 320 GWh (soit 12,5%), contre 27 GWh (1%) pour la biomasse. Les programmes d'Electrification rurale décentralisée ont permis le développement d'une filière solaire photovoltaïque modeste (2 GWh).
- La filière hydraulique et biomasse ont démarré en 2003. Depuis, la première est fluctuante tandis que la seconde est en progression de 5,7 % par an. Le solaire est nettement plus dynamique, étant donné son niveau de production, avec une hausse moyenne de 16% par an.

Presque inexistante en 1995, l'électricité d'origine renouvelable atteint une part de 13,6% en 2005 (soit un taux de croissance annuel de 90,9%).

ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)





Copyright © 2006 – Observ'ER

Répartition de la production d'électricité au SENEGAL en 2005

ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)

Il existe 5 formes d'énergies renouvelables:

- **La géothermie (la terre)**
- **La biomasse (le vivant)**
- **L'énergie hydraulique (l'eau)**
- **L'énergie éolienne (le vent)**
- **L'énergie solaire (le soleil)**

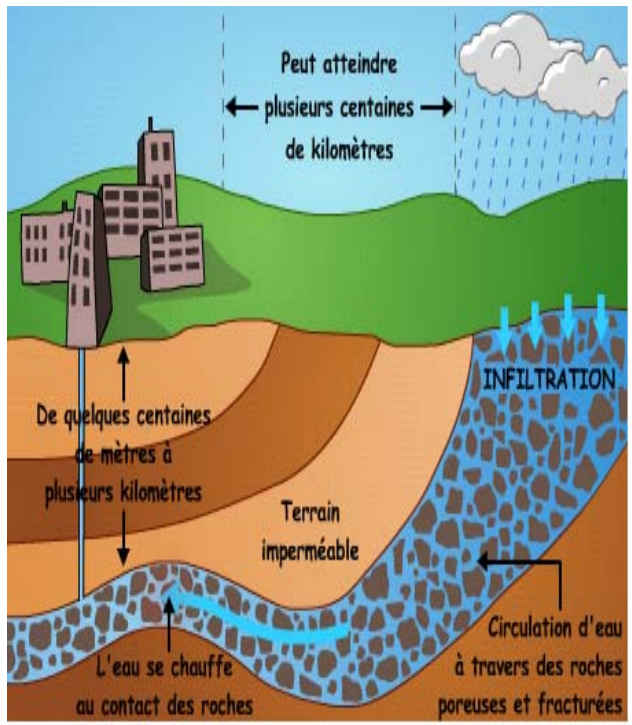
<u>Remarque</u>: D'autres formes d'énergies renouvelables sont rencontrées mais elles sont issues de l'une de ces 5 (formes précisées).

ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)

La géothermie

La chaleur de la Terre est aussi une énergie qu'on peut utiliser. Au centre de la Terre, la chaleur est tellement importante et la pression est si forte que les roches sont en fusion. On appelle cette matière le magma. On se sert de la vapeur ou de l'eau capturée entre les roches et chauffée par la chaleur de la Terre pour produire de l'électricité (température supérieure à 150°) et du chauffage (basse température inférieure souvent à 90°). Cette énergie est appelée Géothermie.



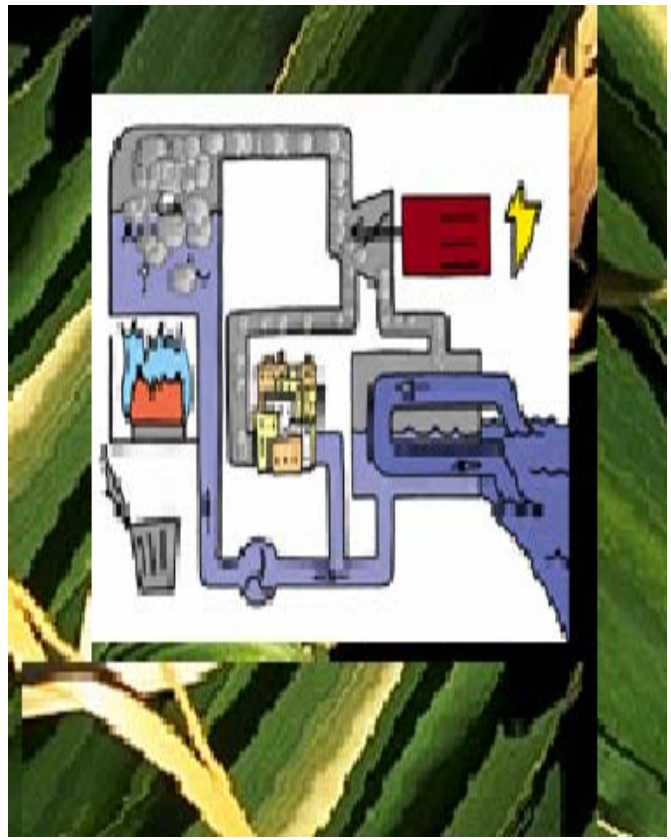
ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (suite)

Biomasse

Les centrales biomasse sont le plus souvent installées sur les lieux mêmes de stockages des déchets, qu'ils soient urbains ou agricoles.

Ces déchets servent de combustibles pour alimenter une chaudière. Là, l'eau porter à ébullition se transforme en vapeur qui alimente une turbine pour produire de l'électricité

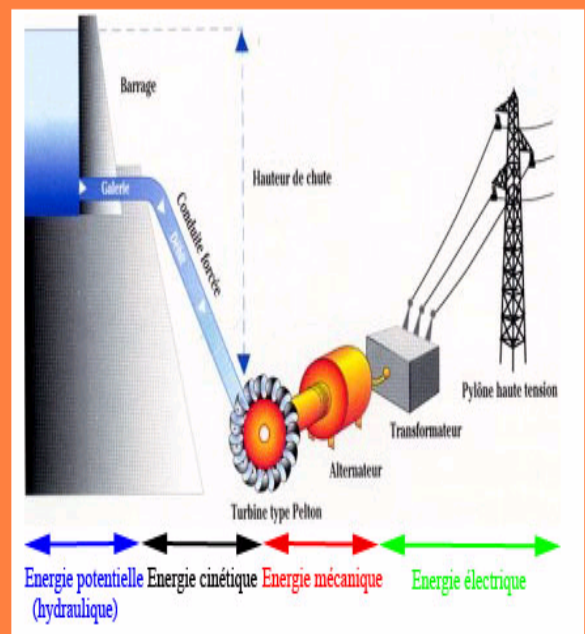


ENERGIES RENOUVELABLES

I - Généralités sur les énergies renouvelables (fin)

L'hydraulique

L'énergie hydraulique est le plus souvent fournie par les chutes d' eau provoquées par l'ouverture des vannes d'un barrage fermant un réservoir d'eau. L'eau descend jusqu'à l'usine le long de conduites forcées : à sa sortie elle possède une grande énergie, due à sa perte d'altitude, qui fait tourner l'immense roue d'une *turbine* . Celle-ci entraîne un *alternateur* , qui produit du courant électrique



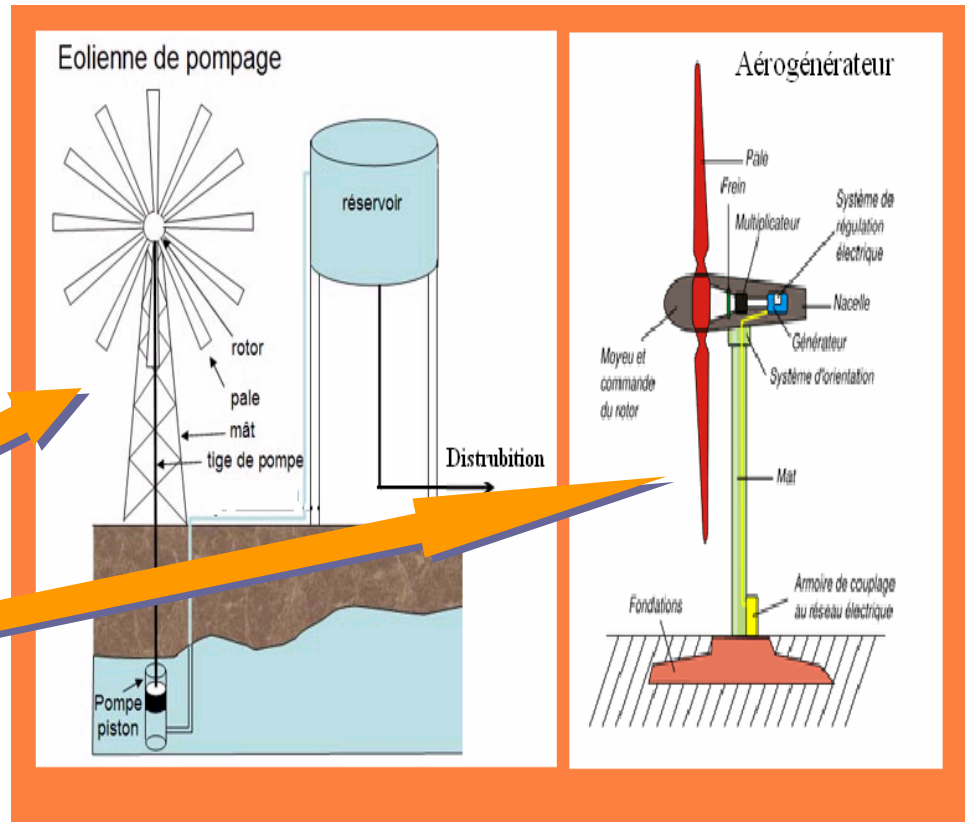
ENERGIES RENOUVELABLES

II - Energie éolienne

Introduction

L'énergie éolienne est l'énergie obtenue à partir du vent. Elle peut être sous deux formes:

- ***Mécanique*** pour le pompage de l'eau
- ***Électrique*** (aérogénérateur)



ENERGIES RENOUVELABLES

II - Energie éolienne (suite)

Potentiel éolien

Mesurer un potentiel éolien c'est déterminer la quantité d'énergie éolienne récupérable sur un site donné. Cette énergie est fortement dépendante du vent qui la caractérise.

La vitesse du vent est mesurée par un anémomètre et sa direction est indiquée par une girouette.

Le potentiel dont dispose notre pays (SENEGAL) dans ce domaine n'a pas encore fait l'objet d'une grande exploitation. Dans la bande côtière située dans les régions de Thiès et Dakar, quelques installations éoliennes destinées au pompage des eaux ont pu être implantées, le plus souvent avec le concours d'Organisations Non Gouvernementales (ONG).

Et le long du littoral entre Dakar et Saint-Louis, la vitesse des vents est comprises entre 3,7m/s et 6,1 m/s, un potentiel éolien assez favorable.

ENERGIES RENOUVELABLES

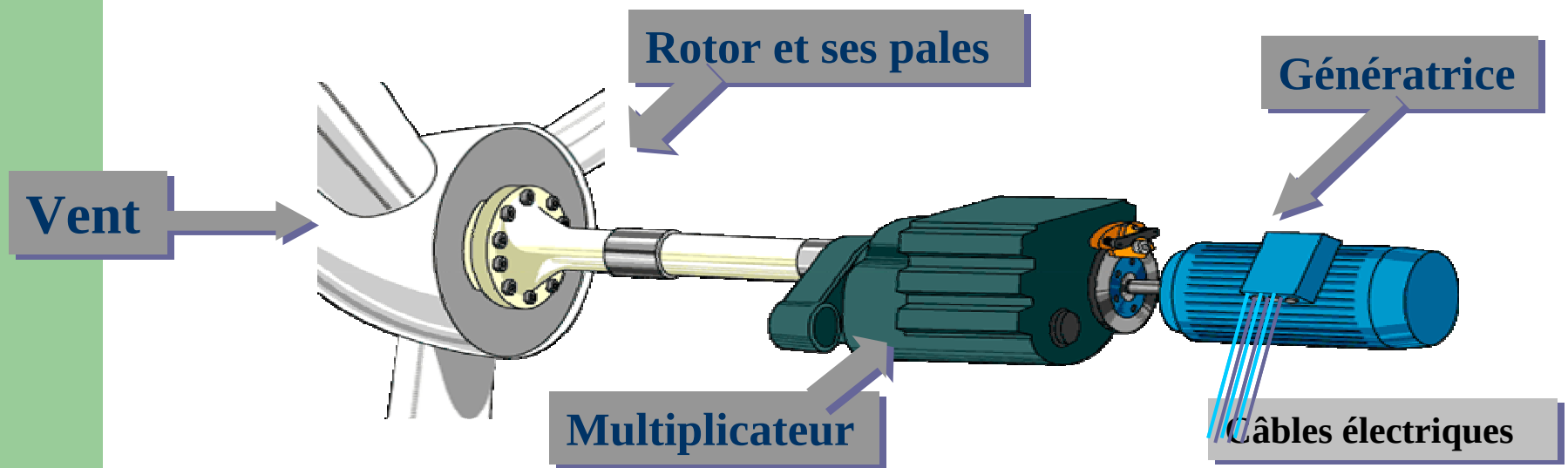
II - Energie éolienne (suite)

Principe de fonctionnement des aérogénérateur

Vois ici commet on produit de l'électricité avec une éolienne

Le vent fait tourner le rotor de l'éolienne.

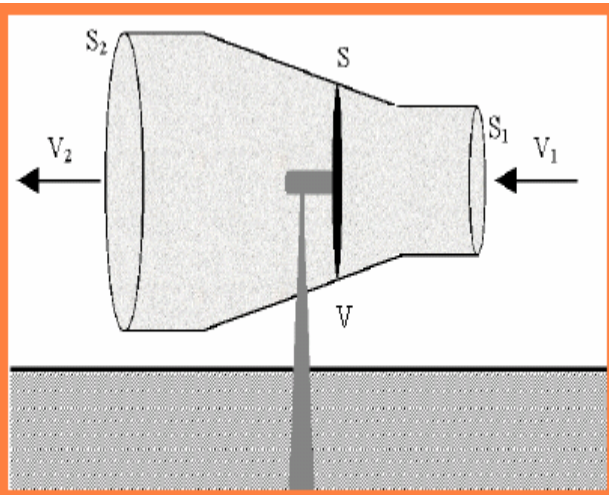
Le rotor entraîne une génératrice (une dynamo) qui produit de l'électricité



ENERGIES RENOUVELABLES

II - Energie éolienne (suite)

- La loi de Betz détermine qu'une éolienne ne pourra jamais convertir en énergie mécanique plus de 16/27 (ou 59%) de l'énergie cinétique contenue dans le vent.
- S la surface balayée par les pales
- ρ masse volumique de l'air 1,22 kg/m^3
- V1 vitesse du vent en amont de l'aéromoteur
- Cp coefficient de puissance



$$P_{max} = \left(\frac{16}{27}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\rho S V_1^3$$

$$P_{vent} = \frac{1}{2}.\rho.S.v^3$$

$$P_{turbine} = \frac{1}{2}.C_P.\rho.S.v^3$$

ENERGIES RENOUVELABLES

II - Energie éolienne (suite)

- Évolution de la puissance de l'aéromoteur en fonction de la vitesse du vent

Pour des raisons de sécurités face à des vitesses de vent trop fortes, le système doit s'arrêter pour pallier à une éventuelle destruction mécanique, c'est pour cela qu'on utilise principalement deux systèmes de contrôle de vitesse:

- Le système Stall (décrochage aérodynamique)
- Le système à calage variable (Pitch control)

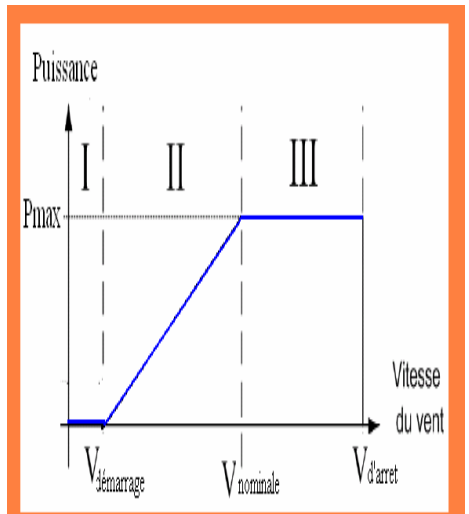
Différents aérogénérateurs dans les systèmes hybrides

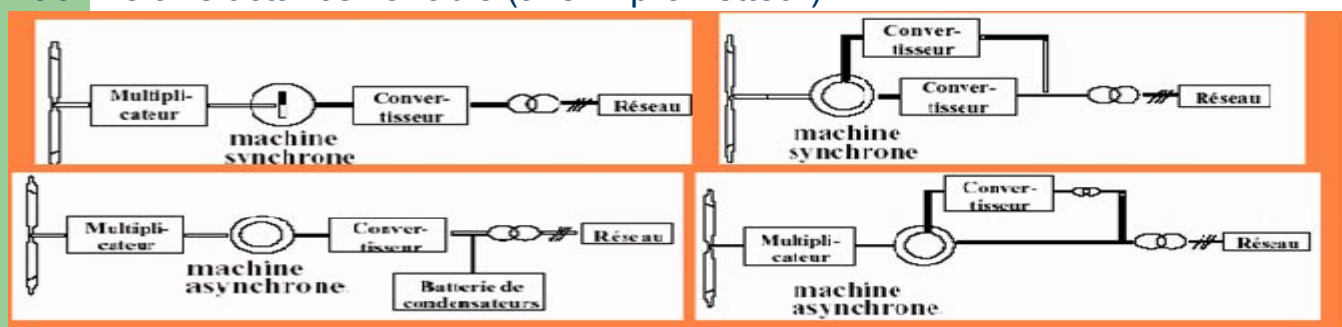
Type de Convertisseur électromécanique :

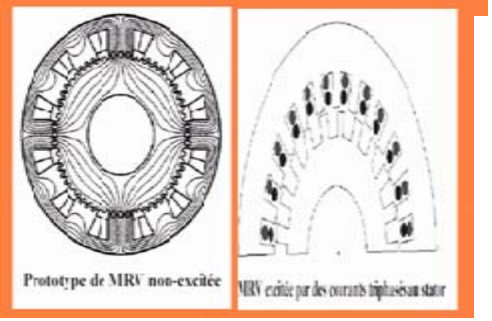
Machine synchrone

Machine asynchrone (plus répandue)

Machine à réluctance variable (avenir prometteur)







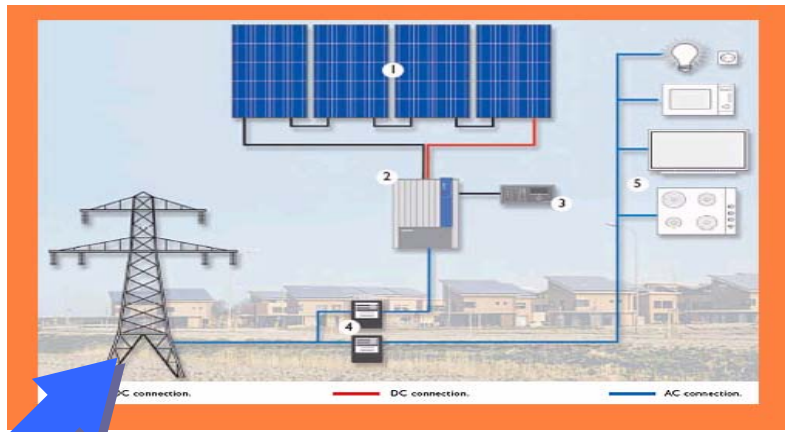
ENERGIES RENOUVELABLES

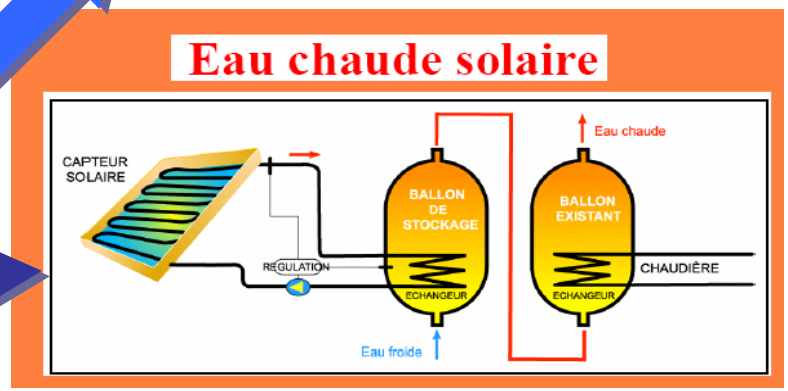
III – Energie photovoltaïque

Introduction

L'énergie solaire est l‘ énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l‘atmosphère.

Nous distinguons l’énergie solaire ***photovoltaïque*** à celle ***thermique.***





ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

Potentiel solaire

Le soleil émet du rayonnement qui arrive à la surface de la terre de manière inégale suivant le lieu géographique où on se trouve. La quantité d'énergie mesurée à la surface de la terre qui peut être transformée en énergie électrique ou thermique est appelée le potentiel solaire. Il est mesurée par le pyranomètre et est souvent exprimé en kWh(kilo Watts Heures)

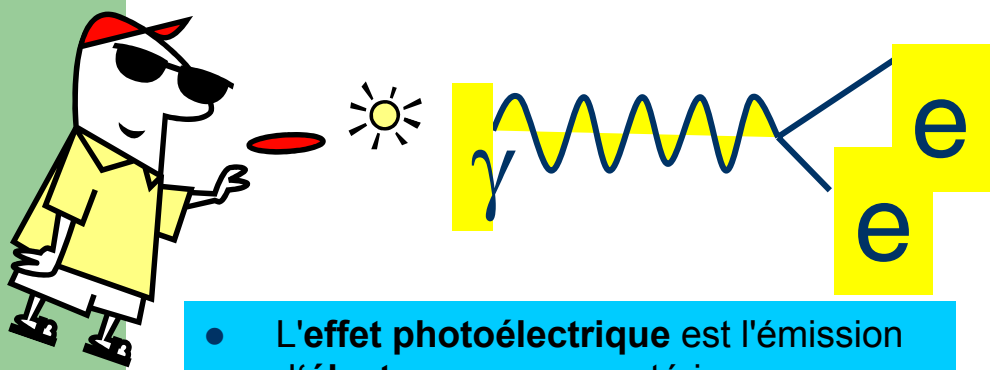
Au Sénégal, nous avons la présence du soleil qui est important (12 mois/12): l'irradiation globale annuelle est de 2000 kWh par mètre carré soit environ 3000 heures d'ensoleillement. Sa valorisation la plus prometteuse est sous forme d'énergie photovoltaïque pour contribuer à la satisfaction des besoins des populations rurales (petite hydraulique villageoise, réfrigération, éclairage, recharge de batterie) qui ne sont pas raccordées au réseau électrique.

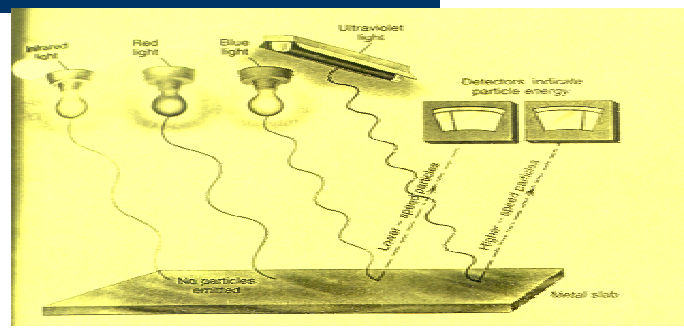
ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

Conversion (Solaire photovoltaïque)

Vous parlez de l'effet photoélectrique mais quoi ça





- L'**effet photoélectrique** est l'émission d'**électrons** par un matériau, généralement métallique lorsque celui-ci est exposé à la l**umière** ou un **rayonnement électromagnétique** de fréquence suffisamment élevée, qui dépend du matériau.

En résumé l'effet photoélectrique :

$$\gamma + A \rightarrow e^- + A^{*+}$$

Le photon transfère la totalité de son énergie a l'atome qui en libère une large partie en émettant l'un de ses électrons.
Énergie cinétique de l'électron éjecte de l'atome :

$$E_e = h\nu - E_{nlj}$$

ou E_{nlj} représente l'énergie de liaison de l'électron dans l'atome. Les électrons les plus proches du noyau sont les plus lies.

ENERGIES RENOUVELABLES

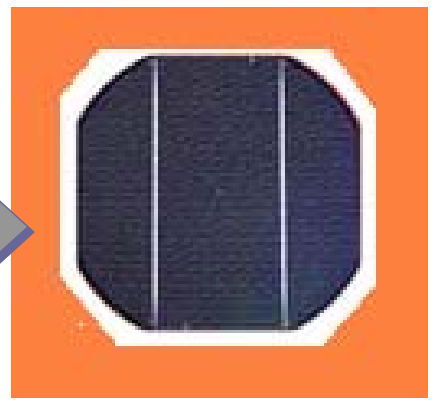
III -Energie photovoltaïque (suite)

Qu'est ce que cela à voir avec l'énergie solaire ?

Le soleil étant disponible en permanence, il est très intéressant d'en tiré profit en appliquant l'effet photoélectrique. C'est ainsi des cellules PV ont été conçues pour convertir le rayonnement solaire en électricité.

C'est quoi une Cellule photovoltaïque ?

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère une tension électrique (volt) (cet effet est appelé l'effet photovoltaïque). La tension obtenue est de l'ordre de 0,5 V.
Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si), de sulfure de cadmium (SCd) ou de tellure de cadmium (CdTe). Elles se présentent sous la forme de deux fines plaques en contact étroit. Un autre nom est "photo galvanique".

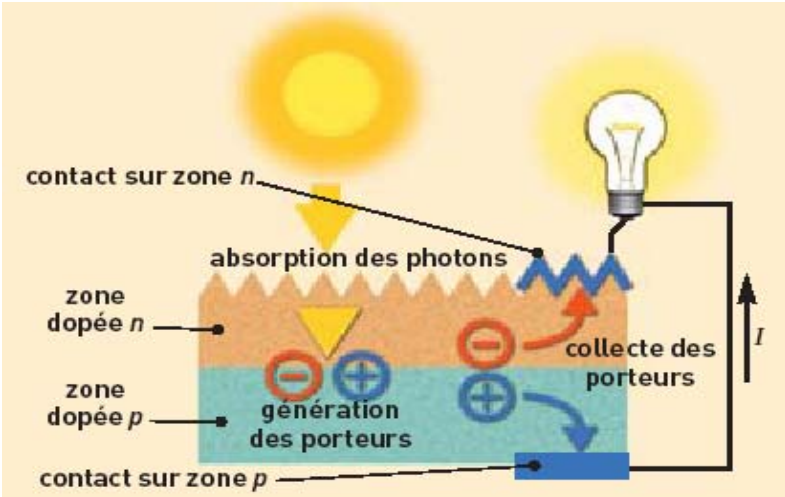


ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque : (suite)

Comment ça fonctionne la cellule PV

Lorsqu'un photon ayant suffisamment d'énergie est absorbé par le memi-conducteur, il produit la rupture d'une liaison de valence et libère ainsi un électron, ce qui crée un « trou » positif. Ces charges sont ensuite séparés par le champ électrique au niveau de la jonction np, puis se dirigent vers les contacts électriques correspondants. En reliant les deux couches, à travers un circuit, on obtient un mouvement des électrons qui passent d'une couche à l'autre et créent ainsi un courant électrique.



Effet de dopage de deux jonction puis transfert de porteurs de charges électrique et création d' énergie électrique

ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

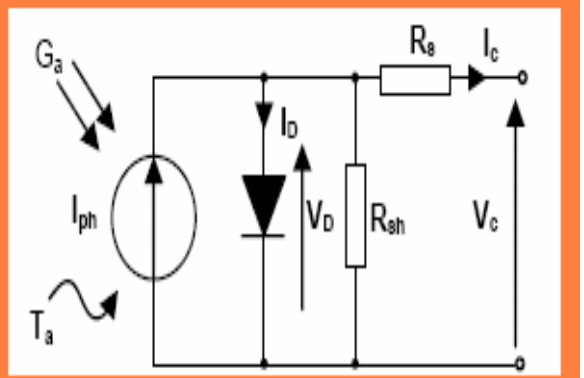
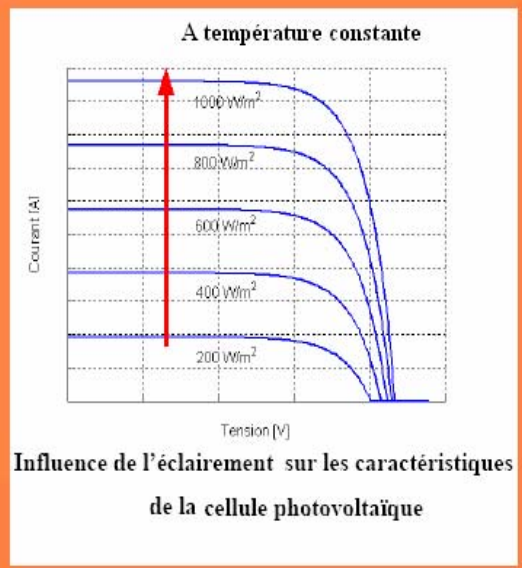
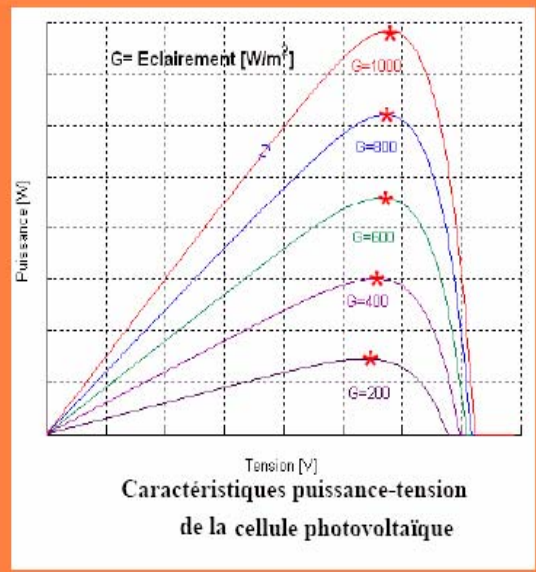


Schéma électrique équivalent ç une cellule PV, modèle une diode



Influence de l'éclairement sur les caractéristiques de la cellule photovoltaïque



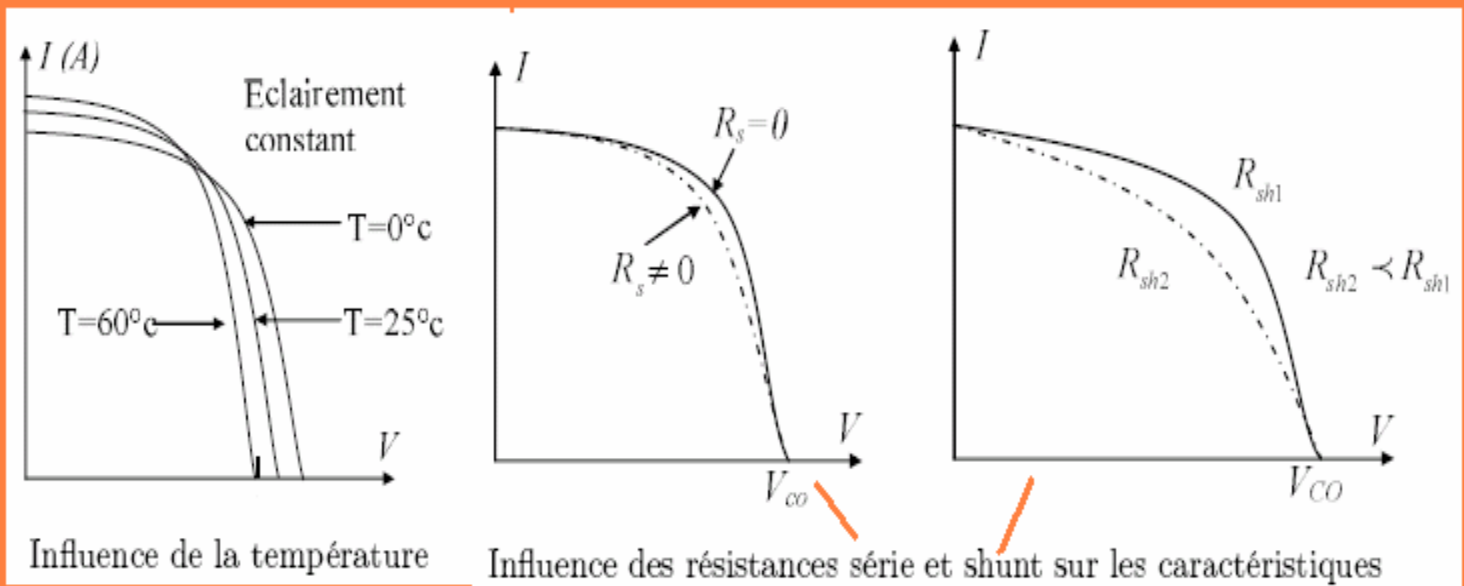
Caractéristiques puissance-tension de la cellule photovoltaïque

$$I_c = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0\left\{\exp\left[\frac{e(V_c + I_c R_s)}{mKT_c}\right] - 1\right\} - \frac{V_c}{R_{sh}}$$

Ic: courant de la cellule, Iph photocourant image de l'éclairement, ID courant direct de la diode

ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

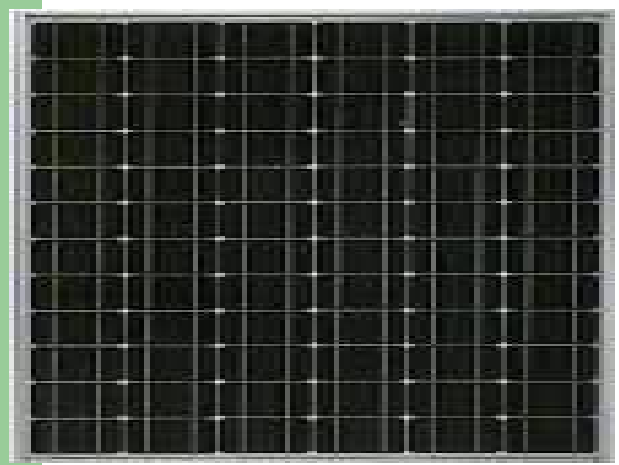


- Température augmente le courant et diminue la tension en circuit ouvert
- Dégradation lorsque Rs est grande ou Rsh faible

ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque : potentiel et conversion (suite)

Pour avoir une tension et un courant plus grand on regroupe plusieurs cellules PV en série et en parallèle: C'est le module photovoltaïque. Plusieurs modules regroupés en série et parallèle donne un champs photovoltaïque



Module photovoltaïque

Champs de module photovoltaïque

ENERGIES RENOUVELABLES

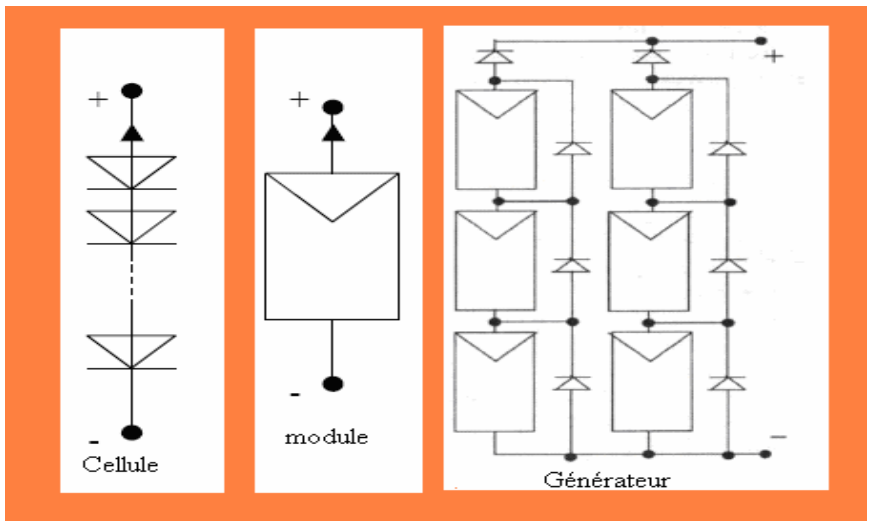
III -Energie photovoltaïque : potentiel et conversion (suite)

Comment réaliser un Générateur PV?

Association de modules en série et en parallèle en respectant les normes de sécurités (Diodes de protections)

Comment dimensionner un générateur PV ?

De la cellule au Générateur



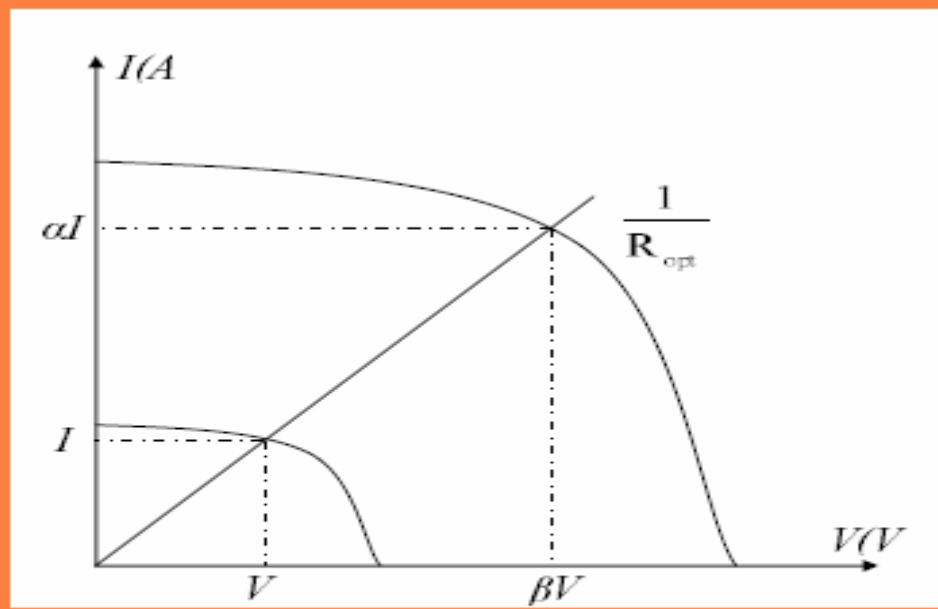
Nbre total de module PV (Nt) = Puissance désirée / Puiss optimale d'un module

L'association en série des modules est imposé par la tension désirée du générateur PV

ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

Avec un regroupement de α modules en série et de β modules en parallèle, le courant du générateur est de β *le courant d'un module tandis que sa tension est α*la tension d'un module

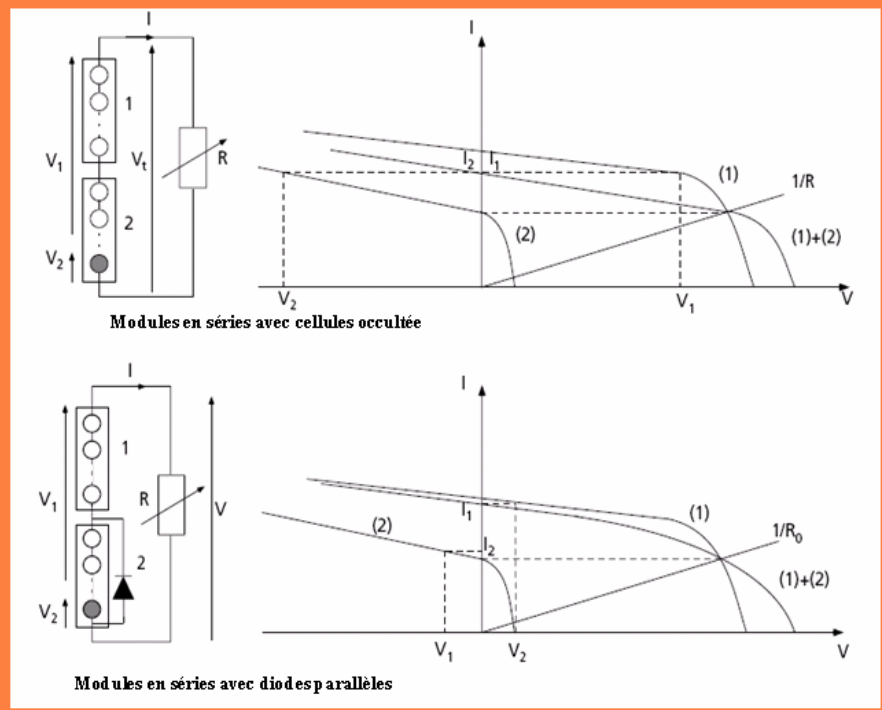


Caratéristique I-V de α modules en parallèle et de β modules en série d'un générateur PV

ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

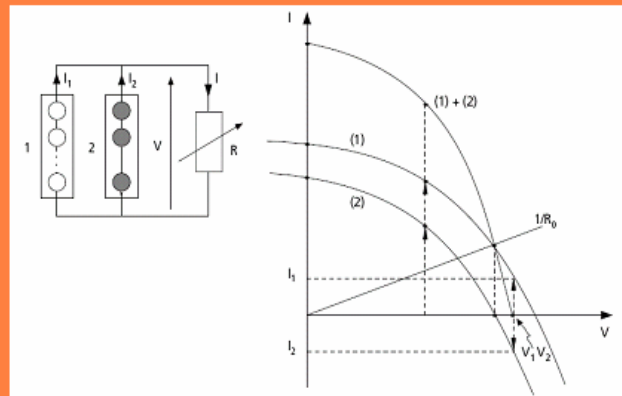
- En fonctionnant ainsi, on provoque l'échauffement de la cellule (*hot spot*), ce qui est susceptible de la détruire par claquage. Il convient donc de limiter la tension inverse maximale susceptible de se développer aux bornes d'une cellule en plaçant une diode parallèle (*by-pass*) au niveau de chaque module.
- La diode parallèle limite la tension inverse par sa tension directe puisqu'elle devient passante. En court-circuit, le courant traversant la diode est I1-I2. La puissance dissipée par la cellule moins efficace se limite à l'ordre du watt, ce qui évite toute destruction. La diode parallèle est inopérante en fonctionnement normal et ne diminue pas le rendement des modules.



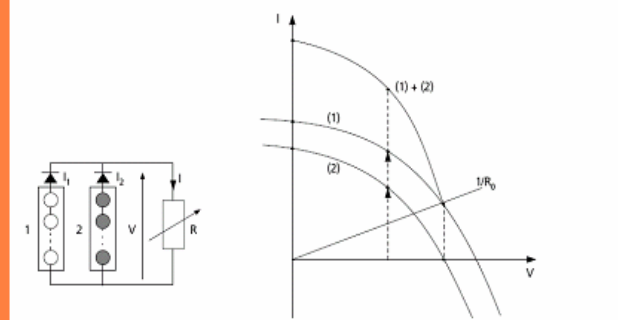
ENERGIES RENOUVELABLES

III -Energie photovoltaïque (suite)

- Si les modules en parallèles ne sont pas identiques ou si quelques cellules d'un module sont ombragées, le courant d'utilisation total des modules sera plus faible. Pour une impédance de charge élevée, les modules moins performants deviendront récepteurs si la tension d'utilisation est supérieure à la tension produite par ces modules. Une dissipation de puissance importante peut devenir dangereuse au niveau de la cellule la plus faible de ces modules. Ainsi pour le cas le plus critique où la charge est nulle et le circuit ouvert, le courant des branches des modules performants se dissipera dans la branche la moins performante.
- Bien que la cellule puisse dissiper un courant important, il est préférable de disposer d'une diode anti-retour. Celle-ci empêche aussi de gaspiller dans le module occulté une partie de la puissance produite par les modules fonctionnant normalement. Cette solution n'est valable que si la chute de tension provoquée par cette diode est négligeable devant la tension produite par les modules de la branche. En effet, cette diode est traversée, en fonctionnement normal, par le courant de la branche, ce qui introduit une perte de puissance permanente



Modules en parallèles avec cellules occultées



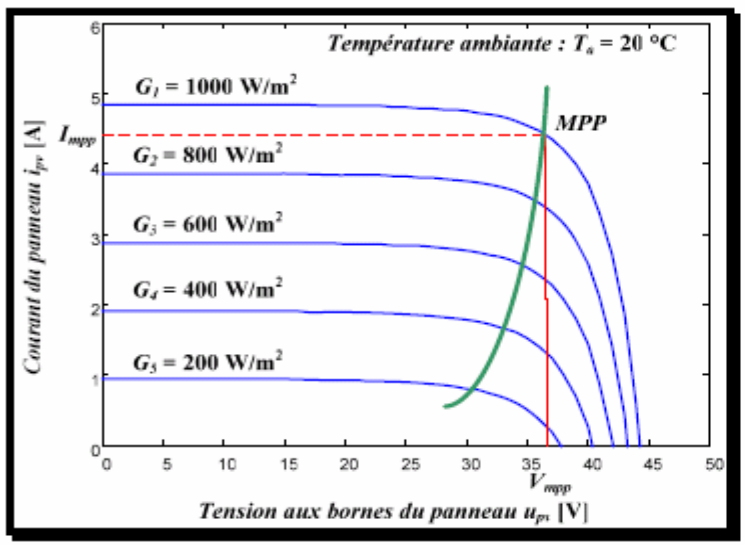
Modules en parallèles avec diodes anti-retour

ENERGIES RENOUVELABLES

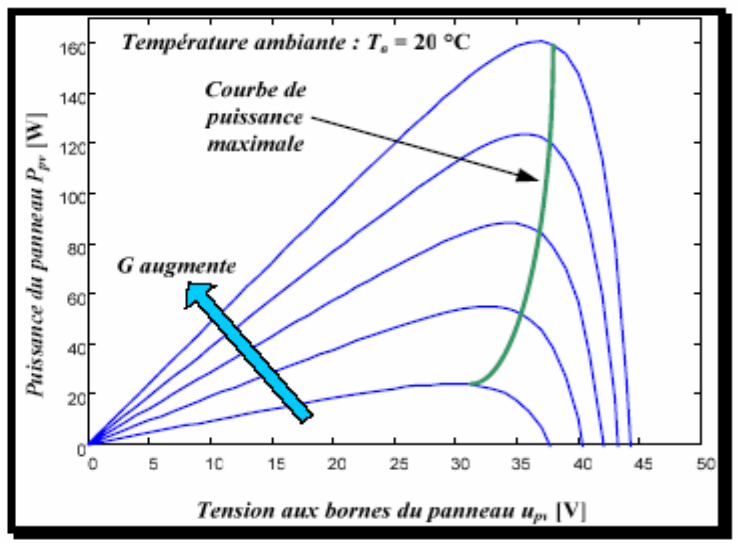
III -Energie photovoltaïque (suite)

- Recherche du point de puissance maximale

Courant - Tension



Puissance - Tension



Caratéristique d'un module PV sous différents éclairements à une température de 20°C

ENERGIES RENOUVELABLES

III - Energie photovoltaïque (fin)

Pour assurer le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à son point de puissance maximale (PPM), des contrôleurs MPPT (Maximum Power Point Tracking) sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés à minimiser l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques

Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique (hacheur par exemple) reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge.

Merci de votre attention

Gustave SOW et El hadji SYLLA

PARTIE :
SYSTEMES DE STOCKAGE

Contact

gsow@ucad.sn

syllaelhadji@yahoo.fr

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

I - Généralités sur les systèmes de stockages

le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par les sources de production, en attente pour une utilisation ultérieure. Le stockage qui permet d'emmagasiner de l'énergie a deux principales fonctions :

- fournir à l'installation de l'électricité lorsque les générateurs ne produisent pas assez (mauvais temps par exemple)
- fournir à l'installation des puissances assez importantes que celles fournies par les générateurs.

Le stockage est souvent utilisé dans un petit système d'énergie pour alimenter des charges pendant une durée relativement longue (des heures ou même des jours)

L'énergie électrique ne se stocke pas directement (sauf pour les *super condensateurs* sous forme électrostatique et les *supraconducteurs* sous forme magnétique) et il faut la convertir sous une autre forme d'énergie (chimique, mécanique, thermique, etc.). Il s'agit donc dans la plupart des cas de stockage indirect. On distingue le stockage à grande échelle du stockage, à moyenne et petite échelle.

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

I - Généralités sur les systèmes de stockages (suite)

- *La caractéristique principale d'un système de stockage est sa Capacité énergétique* Wstoc en Wh (wattheures) est une grandeur généralement fortement dimensionnantes
- Sa part exploitable est fonction du rendement de charge ou décharge du système de stockage

Cette capacité varie avec le temps de transfert 'énergie

- pertes « en charge »
- pertes d'auto-décharge

- Limites de décharge profonde (état de charge minimal)
- L'énergie exploitable W utile est toujours inférieure à l'énergie totale stockée.

A quel niveau stocker

Au niveau des générateurs fluctuants pour l'amélioration de la participation aux services systèmes : production de puissances active et réactive à la demande donc meilleure intégration dans les marchés ouverts de l'énergie…

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

I - Généralités sur les systèmes de stockages (suite)

L'énergie électrique peut se stocker sous différentes manières suivant les applications envisagées:

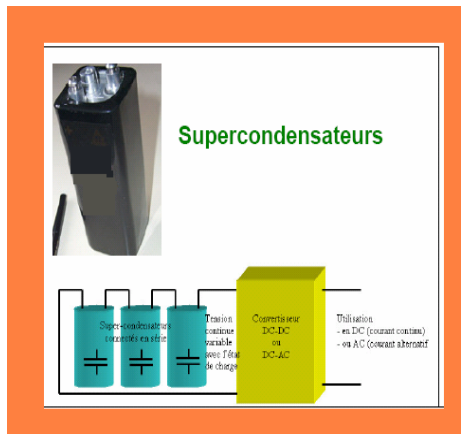
- Sous forme ***d'énergie électrostatique***, en accumulant des charges électriques dans un ou plusieurs condensateur.
- Sous forme d'***énergie électromagnétique***, en établissant un courant électrique dans un circuit bobiné autour d'un circuit magnétique, de telle sorte que l'énergie nécessaire pour mettre en mouvement les charges électriques puisse être restituée par induction. La durée de stockage de l'énergie reste faible même avec les meilleurs métaux conducteurs que sont l'argent et le cuivre en raison des pertes par effet de joule dans le circuit ; un stockage de longue durée nécessite ainsi l'utilisation de matériaux supercondensateurs.
- Sous forme ***électrochimique***, qui présente la caractéristique intéressante de fournir une tension à ses bornes peu dépendante de sa charge (quantité d'énergie stockée) ou du courant débité. On utilise la propriété qu'ont certains couples chimiques d'accumuler une certaine quantité d'électricité en modifiant leur structure moléculaire et ceci de manière réversible.

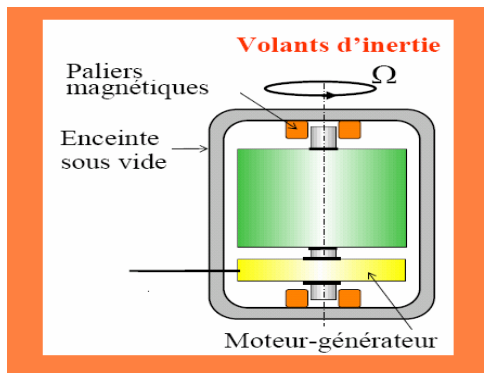
LES SYSTEMES DE STOCKAGE

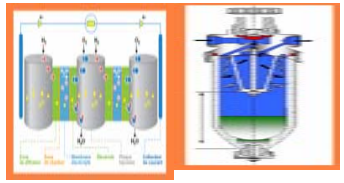
I - Généralités sur les systèmes de stockages (suite)

Nous avons un certains nombres de formes de stockage : batteries électrochimiques, réservoir d'eau, hydrogène, super condensateur, volant d'inertie,…:

- Les ***supercondensateurs***, également appelés ***supercapacités***, sont des systèmes de stockage de l'énergie intermédiaires entre les batteries et les condensateurs diélectriques. Ils ont été longtemps considérés comme la solution au problème posé par, d'un côté, la vitesse de décharge limitée des batteries et, de l'autre côté, la demande croissante de puissance pour l'alimentation des équipements électroniques ou électriques de dernière génération. Cependant, leur application était limitée par la quantité d'énergie qu'ils étaient capables de contenir. C'est cette dernière, en effet, qui définit la durée de la décharge, aujourd'hui limitée à quelques secondes. On les retrouve dans les systèmes assurant la qualité du courant
- ***Les volants d'inertie*** (volant d'inertie associé à un moteur/générateur avec des paliers magnétiques dans une enceinte de confinement sous très basse pression) : cette technologie offre une très grande capacité de cyclage mais elle est pénalisée par son autodécharge. Les volants d'inertie sont des systèmes à faible constante de temps.







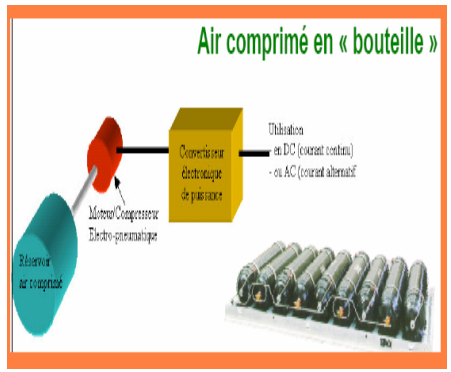
LES SYSTEMES DE STOCKAGE

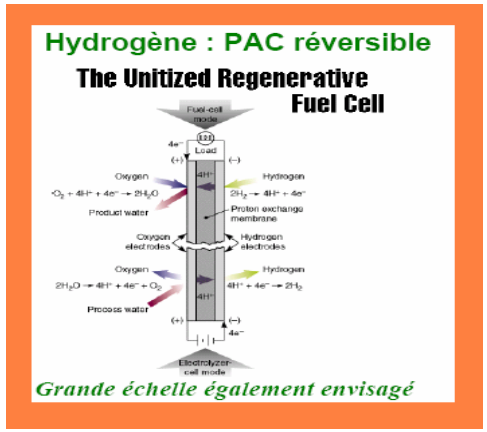
I - Généralités sur les systèmes de stockages (suite)

- ***L'air comprimé en bouteilles*** : cette technologie relativement accessible est pénalisée par un rendement faible (pertes énergétiques importante lors de la phase de détente) et nécessite un site spécifique (géologie). En effet, pour restituer 1 kWh au réseau, il faut utiliser 0,75 kWh d'électricité durant la phase de pompage et brûler 1,22 kWh de gaz naturel durant le déstockage (on brûle du gaz naturel pour réchauffer l'air dans une chambre de combustion avant de le détendre dans une turbine).
- L'***hydrogène*** associé à une pile à combustible (PAC) : ces systèmes sont basés sur une chaîne de conversion électrolyseur/H2/PAC. Cette technologie nécessite des coûts d'investissement très élevés pour un rendement faible (< 0,5) et la durée de vie est insuffisante pour des applications couplées aux réseaux électriques.

Une pile à combustible est un générateur qui convertit directement et en continu l'énergie d'un combustible en électricité par réactions électrochimiques. Le système le plus simple permet, à partir d'hydrogène et d'oxygène, de fournir de l'eau et de l'électricité.

Les principaux avantages des piles à combustible sont leur haut rendement électrique, fiabilité, absence d'émissions et faible niveau sonore

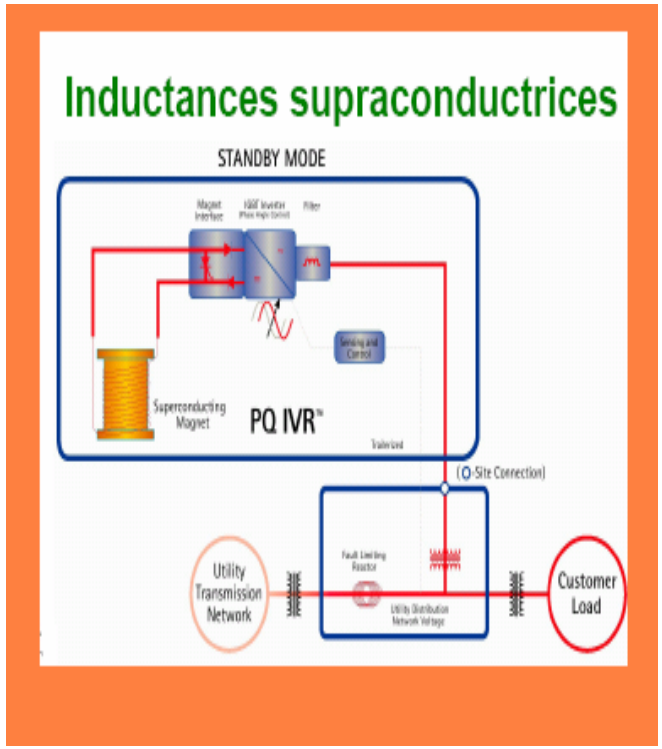




LES SYSTEMES DE STOCKAGE

I - Généralités sur les systèmes de stockages (suite)

- Les ***supraconducteurs*** : ces composants fonctionnent à des températures très basses (cryogénie), ce qui rend leurs applications industrielles, pour l'instant, très difficiles. Comme pour les super condensateurs, ces systèmes sont bien adaptés aux faibles constantes de temps.



LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries

- **Les batteries Accumulateurs électrochimiques**

Nombreuses technologies disponibles (différents compromis performances – coût)

- Plomb-acide
- Nickel-Cadmium
- Nickel-Métal-Hydrures
- Lithium
- Métal-air
- Sodium-soufre (haute température : 350°C)
- …

Les valeurs d'énergie massique les plus élevées (30 à 150 Wh/kg) mais une cyclabilité faible (qq 100 à qq 1000 cycles)

- Chaque type de batterie a des caractéristiques qui lui sont propres, il est fortement conseillé de respecter les critères de décharge et de recharge, spécifiques à chaque modèle (*temps*, *intensité*, *tension*, *température…*).
- Une batterie électrochimique est composée de plusieurs cellules d'accumulateurs montées en série. La tension d'une batterie au plomb est toujours multiple de **2 Volts** environ

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (suite)

- En réalité, une batterie 12 Volts chargée affichera une tension de **12,8 à 13,2 Volts**; si la tension d'une batterie chargée est inférieure à **11,4 Volts**, la batterie sera en fin de vie. Même non branchée, une batterie au plomb se décharge lentement du fait de diverses réactions chimiques parallèles présentes, qui peuvent conduire à la "sulfatation" de la borne positive (poudre blanchâtre).
- La capacité d'une batterie est donnée en **Ah (Ampère Heure).**
- Deux éléments de batterie associés en série doubleront la tension disponible, pour une même capacité, mais deux éléments associés en parallèle doubleront la capacité de la batterie pour une tension disponible inchangée. La capacité indiquée d'une batterie n'est **en aucun cas** sa capacité utilisable sans détérioration. Suivant le type de batteries, on pourra utiliser de 80% (batteries stationnaires) à 10% (batteries de démarrage) de cette capacité.

Le système de stockage est dimensionné par sa ***capacité de stockage***, mais pas seulement. Il doit en effet également répondre aux critères suivants :

- · puissance crête déterminée ;
- · cyclabilité élevée ;
- · bon rendement en charge et en décharge dans la gamme de puissance en production
- et en consommation ;
- · pertes d'auto-décharges faibles ;
- · coûts réduits.

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (suite)

- Batterie au plomb: Caractéristiques, modèles

Des phénomènes complexes, d'où une modélisation complexe et peu fiable

Le vieillissement intervient par effet de cyclage,

Les dérives en température peuvent être importantes

Les schémas équivalent électriques doivent mettre en œuvre des éléments non linéaires pour rendre en compte des phénomènes rapides

dans le secteur des ER, les accumulateurs au plomb sont quasiment seuls: avantages de prix, inconvénient de masse moindre

- **Modèle électrique de la batterie**

Vab et Ibat sont les courant et tension de la batterie (convention récepteur)

Ri résistance interne d'un élément

Nb qui constitue le nombre de la batterie

Eb la forme électromotrice d'un élément de l'état de la charge de la batterie **EDC**

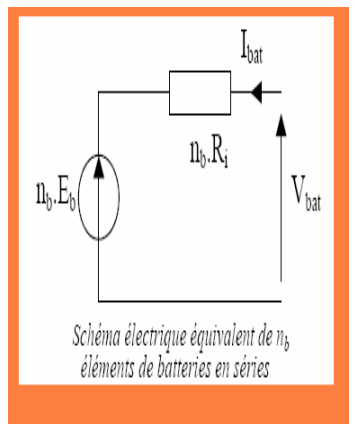


Schéma électrique équivalent de n_b éléments de batteries en séries

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

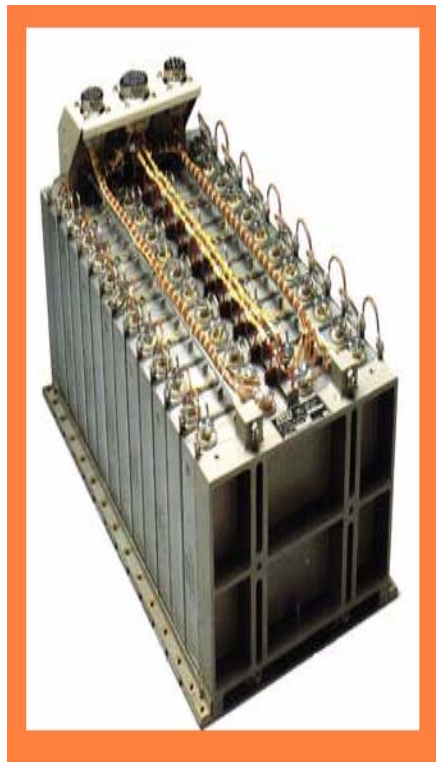
II - Les batteries (suite)

Comment choisir une batterie?

La première étape pour choisir une batterie est de réaliser un ***bilan énergétique*** qui permet d'évaluer les besoins en consommation électrique quotidienne.
Le résultat de ce bilan ainsi que la prise en compte des équipements qui nécessitent une forte puissance (moteur…) permettront de choisir une batterie adaptée.

Les points à prendre en compte pour choisir une batterie sont:

- La technologie:
- Dimensionnement de la capacité et impact sur la durée de vie.
- Durée de vie et nombre de cycles.
- L'intensité maximale
- Les dimensions
- Le poids



LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (suite)

La technologie est souvent imposée par des raisons de sécurités

Technologie		Utilisation				
Types de plaques	Types d'électrolyte	Servitude	Démarrage	Décharge profonde (50%)	Décharge profonde (80%)	Décharge complète (100%)
Plaques minces	Liquide	- - -	+++	- - -	- - -	- - -
Plaques épaisses	Liquide	++	+-	350 cycles	- - -	- - -
Plaques épaisses	AGM	+++	++	450 cycles	275 cycles	200
Plaques épaisses	Gel	+++	+	650 cycles	420 cycles	350

Performance typique en fonction de la technologie de batterie

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (suite)

Dimensionnement de la capacité et impact sur la durée de vie

- La capacité est exprimée en Ampères heure, utilisable pour une période donnée, elle correspond à une quantité d'énergie disponible pendant un certain temps. S'il n'y a pas de précision, la capacité correspond généralement à une consommation sur 20 heures.
  Cette notion de durée est notée Ct où t correspond à la période de temps. Par exemple, pour une batterie de 100 Ah C20 on pourra utiliser 5 A par heure pendant 20 h soit un total de 100 Ah. En effet la capacité de la batterie diminue d'autant plus vite que l'intensité de décharge est élevée
- Néanmoins, pour ne pas détériorer une batterie, il ne faut pas dépasser les limites de décharge admissibles en fonction de la technologie

Type	Nombre de cycles pour une décharge à 75%	Nombre de cycles pour une décharge à 50%	Durée de vie en années à 20°C (charge permanente)	Autodécharge par mois
Liquide	150	350	6	6%
AGM	275	450	12	3%
Gel	420	650	12	2%

Durée de vie et nombre de cycles

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (suite)

- Pour déterminer **l'intensité maximale** nécessaire, il faut relever les valeurs d'intensité des appareils requérant le plus de puissance.
- **Les dimensions:** plus la capacité d'une batterie est importante plus les dimensions le sont.
- **Le poids:** Ce point est également important car plus le besoin en capacité est important plus le poids sera élevé
- **Une batterie doit être placée dans un endroit le plus frais possible et ventilé.**

Capacité	Longueur	largeur	hauteur
75 Ah	242 mm	175 mm	190 mm
105 Ah	330 mm	175 mm	240 mm
200 Ah	520 mm	230 mm	240 mm

Capacité	Poids
75 Ah	22 kg
100 Ah	30 kg
200 Ah	66 kg

Exemple de dimension et poids de batterie

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (suite)

Compléments

- Nombre maximal de cycles de charge-décharge (cyclabilité) induit à la fatigue ou à l'usure lors des cycles
- Le cyclage constitue généralement la première cause de vieillissement devant la dégradation thermique classique.
- Peu d'importance car quel que soit le ***moyen de stockage***, il est nécessaire d'utiliser un ou plusieurs ***convertisseurs d'adaptation***

- Les batteries solaires sont des batteries spécialement conçues pour les installations photovoltaïques et / ou éoliennes ce qui n'est pas du tout le cas des batteries vendues pour les voitures.
  En effet la batterie solaire a une durée de vie augmentée sans aucune comparaison avec une batterie automobile classique car leurs fonctions sont tout à fait différente. La batterie solaire se décharge très lentement et la batterie automobile beaucoup plus rapidement (le but principal de celle - ci est d'apporter une forte énergie au démarrage).

  La bonne tension continue grâce à de courtes connexions inter-éléments. Densité ELECTROLYTE adapté pour une bonne longévité.

  Bornes de sortie multifonctions : câble souple ou connexion rigide pour un montage très facile.
  Bac translucide résistant aux chocs mécaniques et permettant la vérification du niveau des électrolytes.
  Poignée de manutention intégrée.
  D'exceptionnelles propriétés anticorrosion grâce à des plaques positives épaisses de très bonne résistance , favorisent la décharge lente.
  Entretien Réduit , batterie recyclable

LES SYSTEMES DE STOCKAGE

II - Les batteries (fin)

Les Dangers (mesures de protection)

- L'acide sulfurique (par exemple) même à 25% cause des brûlures sévères à toute matière organique, végétale ou minérale qui entre en contact avec lui. Il pénètre dans tout les corps poreux (peau, vêtement, éponge).
- Procéder avec prudence, afin de prévenir un déversement ou une projection d'électrolyte.
- Pour toute manipulation portez des protections individuelles adaptées : gants, lunettes, vêtements de travail, tablier.
- Seul les spécialistes connaissent les techniques, possèdent les outils nécessaires pour réaliser le mélange électrolytique et, donc assurer le remplissage des batteries.
- **Ne jamais verser de l'eau dans de l'acide concentré,** il se produit instantanément une réaction violente entraînant des projections d'acide concentré avec de la vapeur d'eau.

Gustave SOW et El hadji SYLLA

PARTIE:
INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

Contact : gsow@ucad.sn

syllaelhadji@yahoo.fr

LES INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE POUR LA GESTION ET LA MISE EN FORME DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

I. Généralités sur les convertisseurs statiques.

II. Les convertisseurs statiques.

III. Optimisation de transfert d'énergie pour les sources à puissance finie.

IV. Alimentation à découpage.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques

Définition :

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs à composants électroniques capables de modifier la tension (ou le courant) et/ou la fréquence de l'onde électriques.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques (suite)

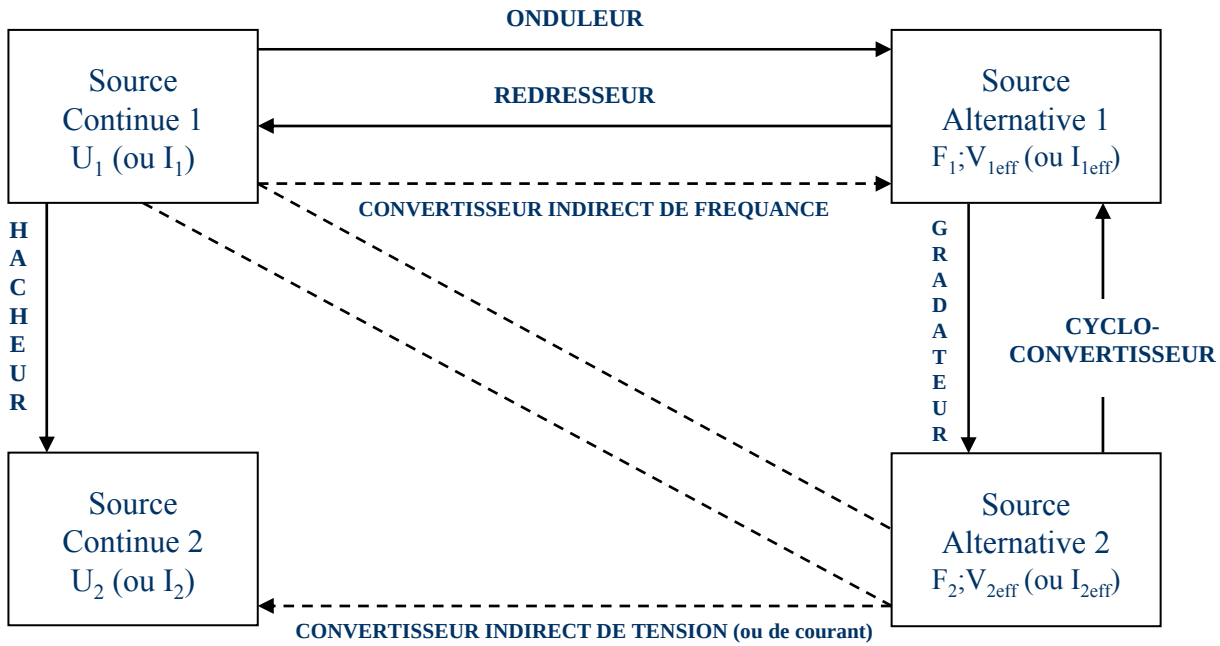
On a l'habitude de distinguer deux sortes de sources de tension (ou de courant) :

- source de tension (ou de courant) continue, caractérisées par la valeur U de la tension (ou celle I du courant) ;
- source de tension (ou de courant) alternative définie par les valeurs de la fréquence f et de la tension V_{eff} (ou du courant efficace I_{eff}) ;

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques (suite)

TYPES DE CONVERSIONS PHYSIQUEMENT POSSIBLES



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques (suite)

On différencie quatre types de convertisseurs directs :

- convertisseurs alternatif-continu : ce sont des redresseurs (ou convertisseurs de courant) ;
- convertisseurs alternatif (V1eff, f1)-alternatif (V2eff, f2) : ce sont des gradateurs (ou variateurs de courant alternatif) lorsque f1 = f2 ; sinon ce sont des cycloconvertisseurs (ou convertisseurs de fréquence) ;
- convertisseurs continu (U1)-continu (U2) : ce sont des hacheurs (ou variateurs de courant continu) ;
- Convertisseurs continu-alternatif : ce sont des onduleurs de tension ou onduleurs de courant (appelé également commutateurs de courant).

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques (suite)

CARACTERISATION DES SOURCES :

On distingue deux grandes familles de sources : les sources de tension et les sources de courant.

Une source est dite de tension quant la tension à ses bornes ne peut pas subir de discontinuité du fait de la variation de la charge.

Une source est dite de courant quand le courant qui la traverse ne peut pas subir de discontinuité du fait de la charge.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques (suite)

- Le fonctionnement des convertisseurs statiques de puissance est basé sur la commutation du courant entre des mailles adjacentes de circuit électrique.
- Ces commutations de courant sont réalisées grâce à des interrupteurs de puissance à semi conducteurs (d'où le nom de statique) et qui permettent par une séquence convenable de fermeture et d'ouverture de maîtriser le transfert d'énergie entre des sources d'entrés et de sorties éventuellement réversibles.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

I - Généralités sur les convertisseurs statiques (suite)

Règles d'interconnexion des sources :

- **Une source de tension ne doit jamais être court-circuitée, mais elle peut être ouverte.**
- **Le circuit d'une source de courant ne doit jamais être ouvert, mais il peut être court-circuité.**
- **Il ne faut jamais connecter entre elles deux sources de même nature (conflit de variables d'état).**
- **On ne peut connecter entre elles qu'une source de courant et une source de tension.**

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques

Convertisseurs statiques directs les plus utilisés dans le domaine des énergies renouvelables:

- Convertisseurs continu(U1)-continu(U2) : hacheurs (ou variateurs de courant continu) ;
- **Convertisseurs alternatif-continu :** redresseurs (ou convertisseurs de courant) ;
- **Convertisseurs continu-alternatif :** onduleurs de tension ou onduleurs de courant (appelé également commutateurs de courant).

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

HACHEURS

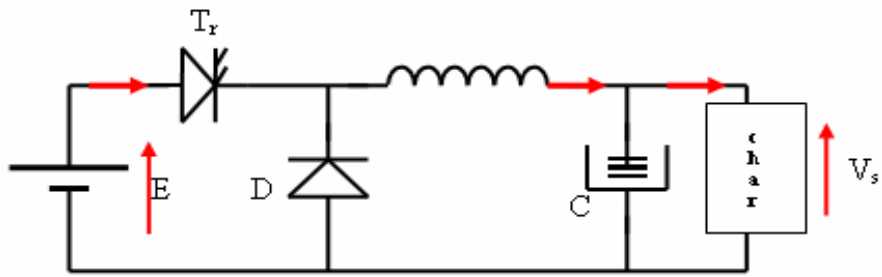
- Le principe du hacheur est basé sur l'ouverture et la fermeture régulière d'un interrupteur statique faisant partie d'un circuit électronique placé entre la source d'entrée et la source de sortie.
- Le réglage relatif des temps d'ouverture et de fermeture de l'interrupteur permet le contrôle de l'échange d'énergie.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

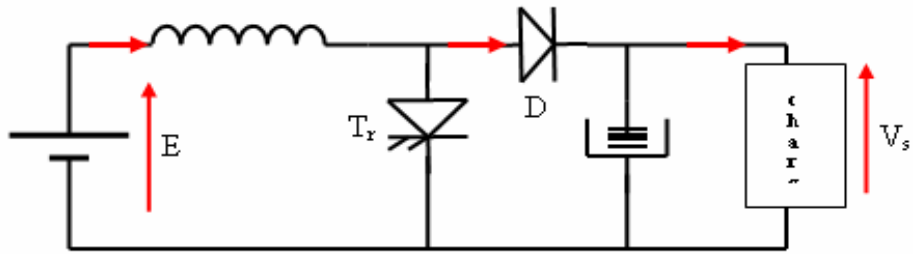
II - Les convertisseurs statiques (suite)

hacheurs

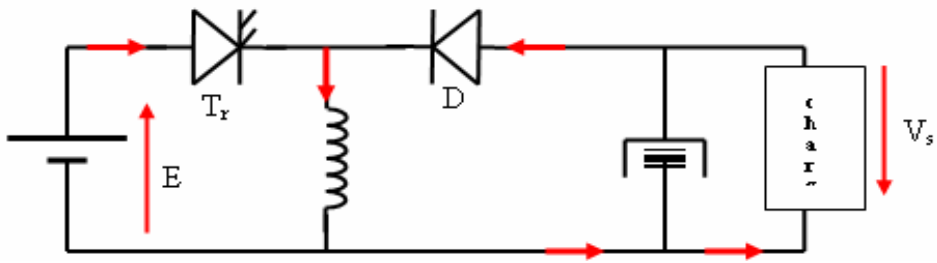
Hacheur dévolteur



Hacheur survolteur



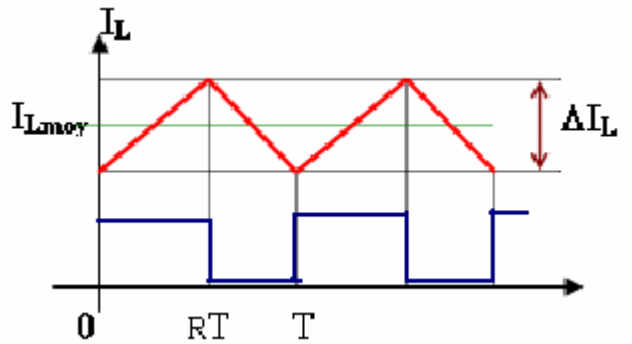
Hacheur dévolteur - survolteur



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

hacheurs



- En régime permanent :

  On pose:

  - t_f = temps de conduction de T_R;
  - t_o = temps de blocage de T_R;
  - $T = t_o + t_f$ = période de commande de T_R;
  - R = rapport cyclique = t_f / T.

Relations entre entrées et sorties:

Dévolteur (ou hacheur série): $Vs = E * R$

Survolteur (ou hacheur paralléle): $Vs = E / (1 - R)$

Dévolteur-Survolteur : $Vs = E*[R / (1-R)]$

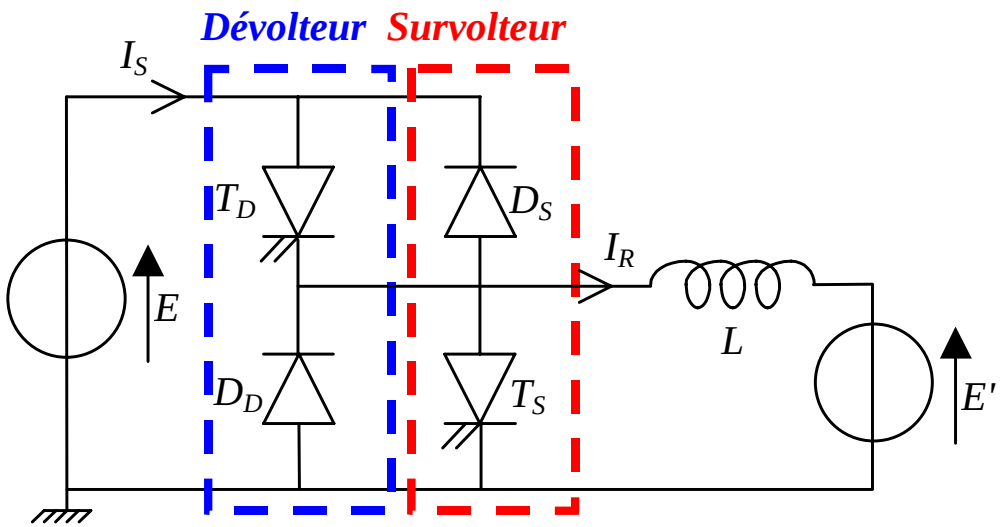
INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

hacheurs

Réversibilité en puissance:

➔associer un hacheur série et un hacheur parallèle pour obtenir un hacheur réversible en puissance (grâce à la réversibilité en courant de la structure):



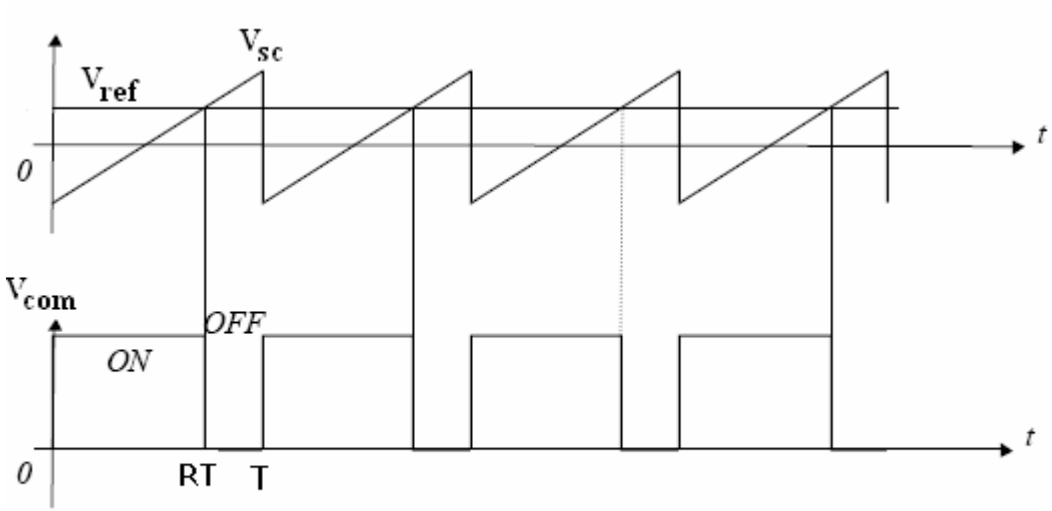
INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

hacheurs

Génération de la commande à partir d'un générateur de dent de scie:

(de manière analogique)



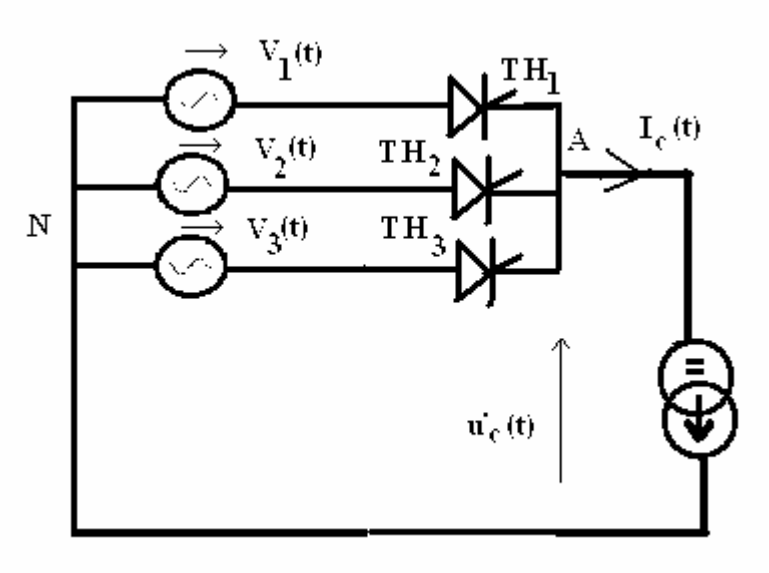
Notons que cette commande peut être générée de manière numérique.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II-Les convertisseurs statiques (suite)

COMMUTATEURS DE COURANT TRIPHASES

Montage triphasé simple alternance, P3 à thyristors :



$V_1(t) = V_M * \sin(\omega t)$;

$V_2(t) = V_M * \sin(wt + 2\pi/3)$;

$V_2(t) = V_M * \sin(wt - 2\pi/3)$.

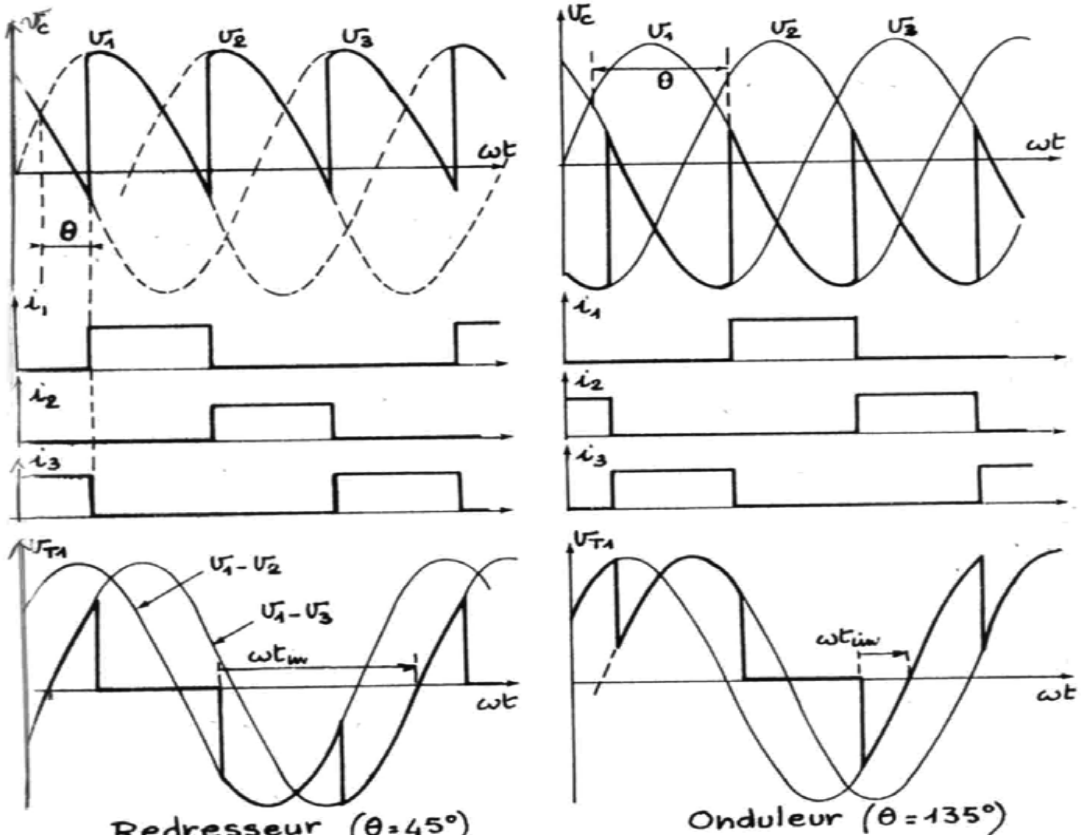
$[u_c'(t)]_{moy} = (3/\pi) * V_M * \sin(\pi/3) * \cos(\Psi)$

Pour systéme à m phases, on a:

$[u_c'(t)]_{moy} = (m/\pi) * V_M * \sin(\pi/m) * \cos(\Psi)$

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II- Les convertisseurs statiques (suite) commutateurs

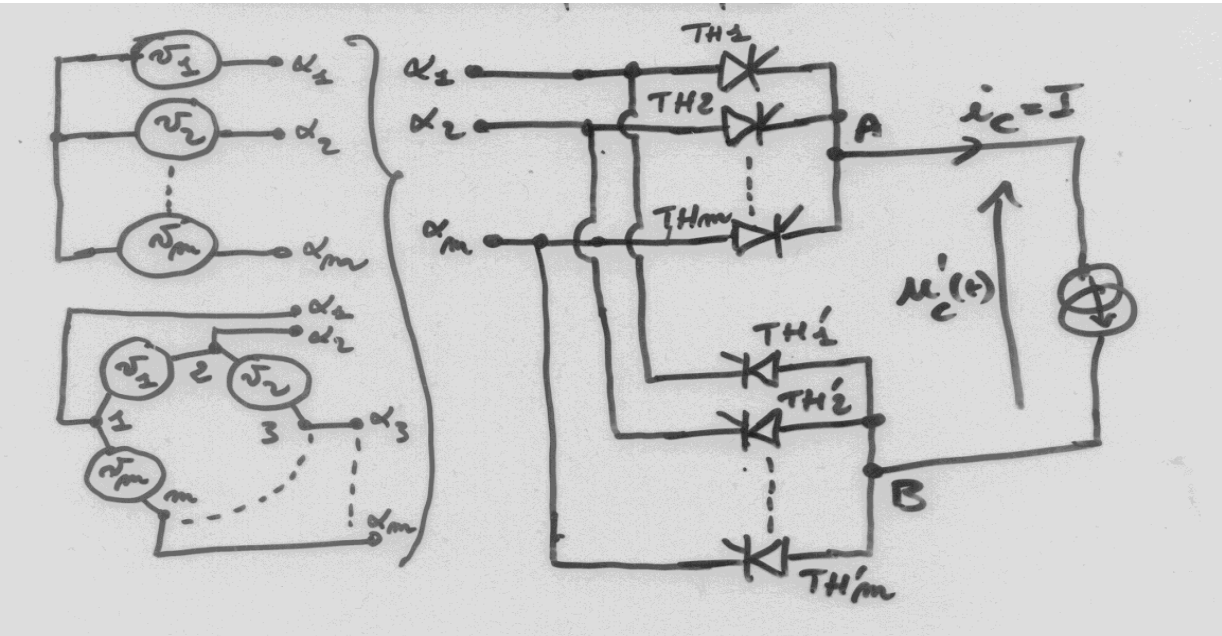


INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite) commutateurs

COMMUTATEURS POLYPHASES DOUBLE ALTERNANCES

Ils sont constitués par l'association de deux groupements un positif et un négatif. Les sources de tensions alternatives peuvent être montées soit en étoile (*commutation // double alternances*), soit en polygone (*commutation série double alternances*).

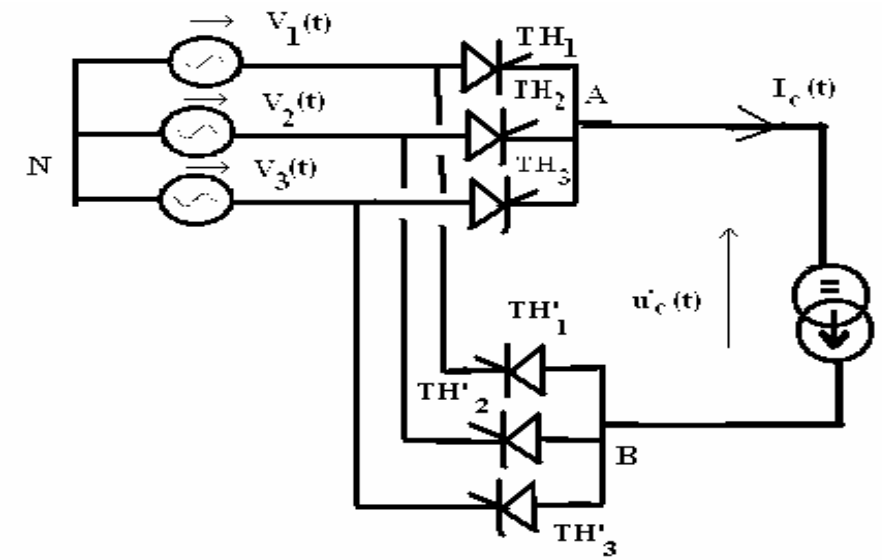


INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite) commutateurs

Exemple du PD3 à thyristors:

$$[u_c'(t)]_{moy} = (6/\pi)*V_M*\sin(\pi/3)*\cos(\Psi) = U_c* \cos(\Psi)$$

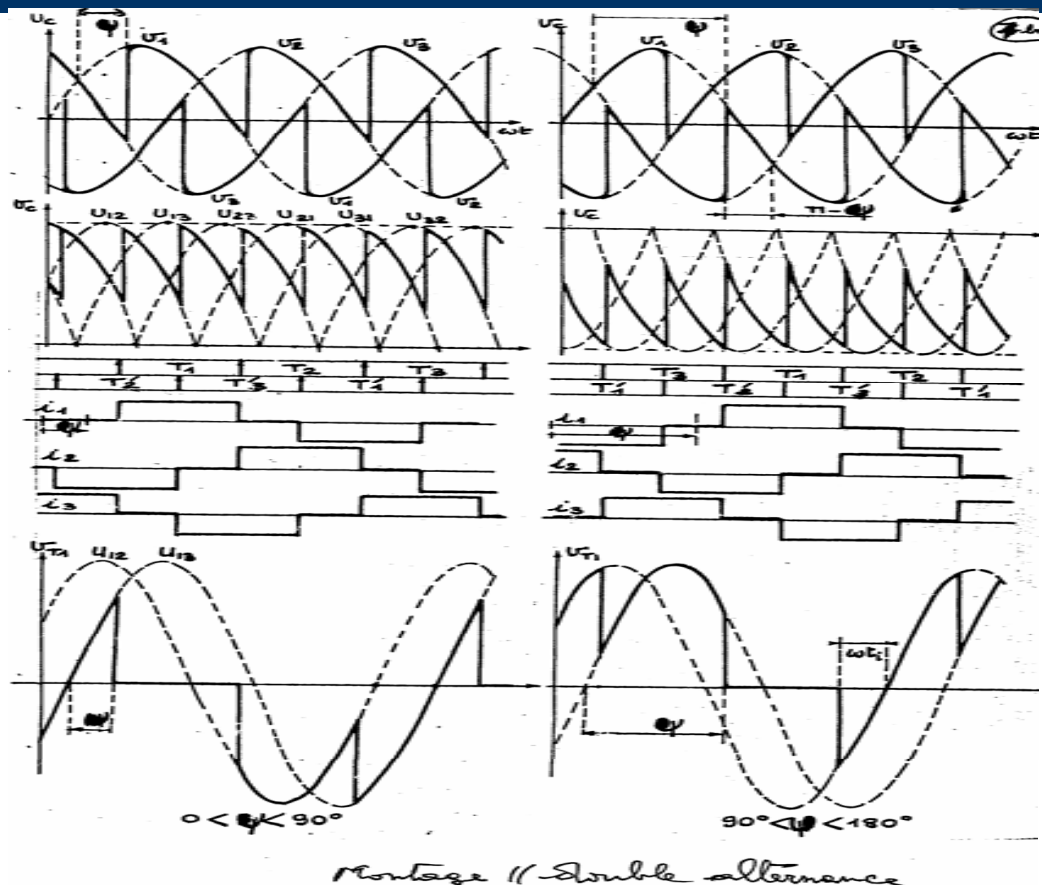


$$U_c > [uc'(t)]moy > -U_c$$

Si les sources d'entrées et de sortie sont réversibles alors les fonctionnements en redresseur et en onduleur de courant son possibles.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

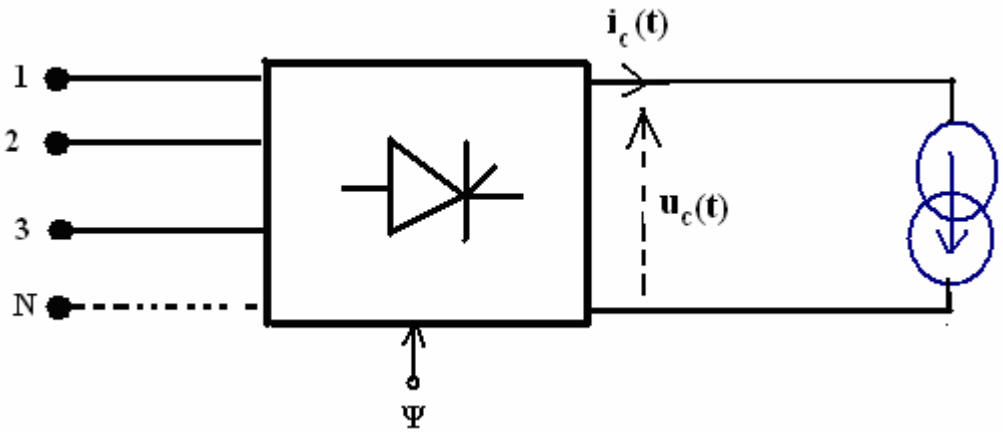
II - Les convertisseurs statiques (suite) commutateurs

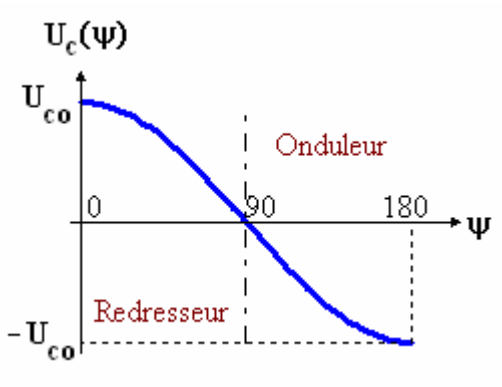


INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite) commutateurs

GENERALISATION DES MONTAGES TRIPHASES A THYRISTORS





$$[u_c(t)]_{moy} = U_c = (\pi/p)*V_M*\sin(\pi/p)*\cos\psi = Uc0*\cos\psi$$

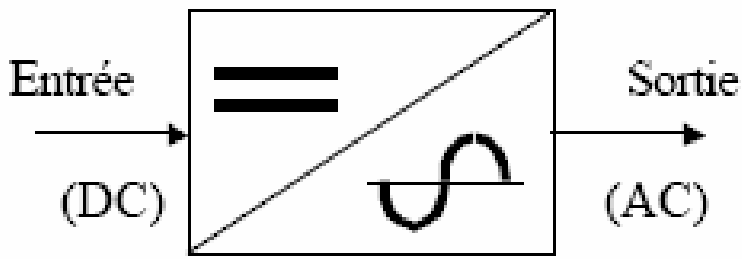
Avec : **p** = indice de pulsation et $\mathbf{V_M}$ = amplitude maximale de $u_c(t)$.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

ONDULEUR DE TENSION

Les onduleurs autonomes sont des convertisseurs destinés à alimenter des récepteurs à courant alternatif à partir d'une source continue. Ils sont généralement monophasés ou triphasés.



Convertisseur Continu (DC) - Alternatif (AC)

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

Suivant les applications, ils peuvent :

- soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes : c'est le cas en particulier des alimentations de sécurité destinées à se substituer au réseau en cas de défaillance de celui-ci.
- soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitude variables : c'est le cas des onduleurs servant à alimenter des moteurs à courant alternatif (synchrones ou asynchrones) devant tourner à vitesse variable.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite) Onduleurs

Un onduleur de tension est alimenté par un générateur continu du type source de tension :

Idéalement, la tension à son entrée a une valeur constante ***U*** qui est indépendante du courant ***i*** que l'onduleur absorbe. En pratique, le caractère de "source de tension" du générateur d'entrée de l'onduleur est obtenu en plaçant en parallèle avec les bornes de cette source un condensateur, ***C***, de forte valeur.

Idéalement, le courant absorbé par le récepteur est :

- un courant sinusoïdal si le récepteur est monophasé;
- un système triphasé équilibré de courants sinusoïdaux si le récepteur est triphasé.

En pratique, le caractère de source de courant du récepteur découle de la présence d'inductances série à ses bornes d'accès.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

Les parties puissances des onduleurs de tension sont équipe d'éléments semi-conducteurs commandable a l'amorçage et au blocage (transistors, MOSFET, IGBT, GTO, etc.).

Dans les onduleurs en pont, chaque borne du récepteur est reliée à la source de tension continue par deux interrupteurs à semi-conducteurs bidirectionnels en courant : l'un permet de la relier à la borne plus de cette source, l'autre à la borne moins de la source.

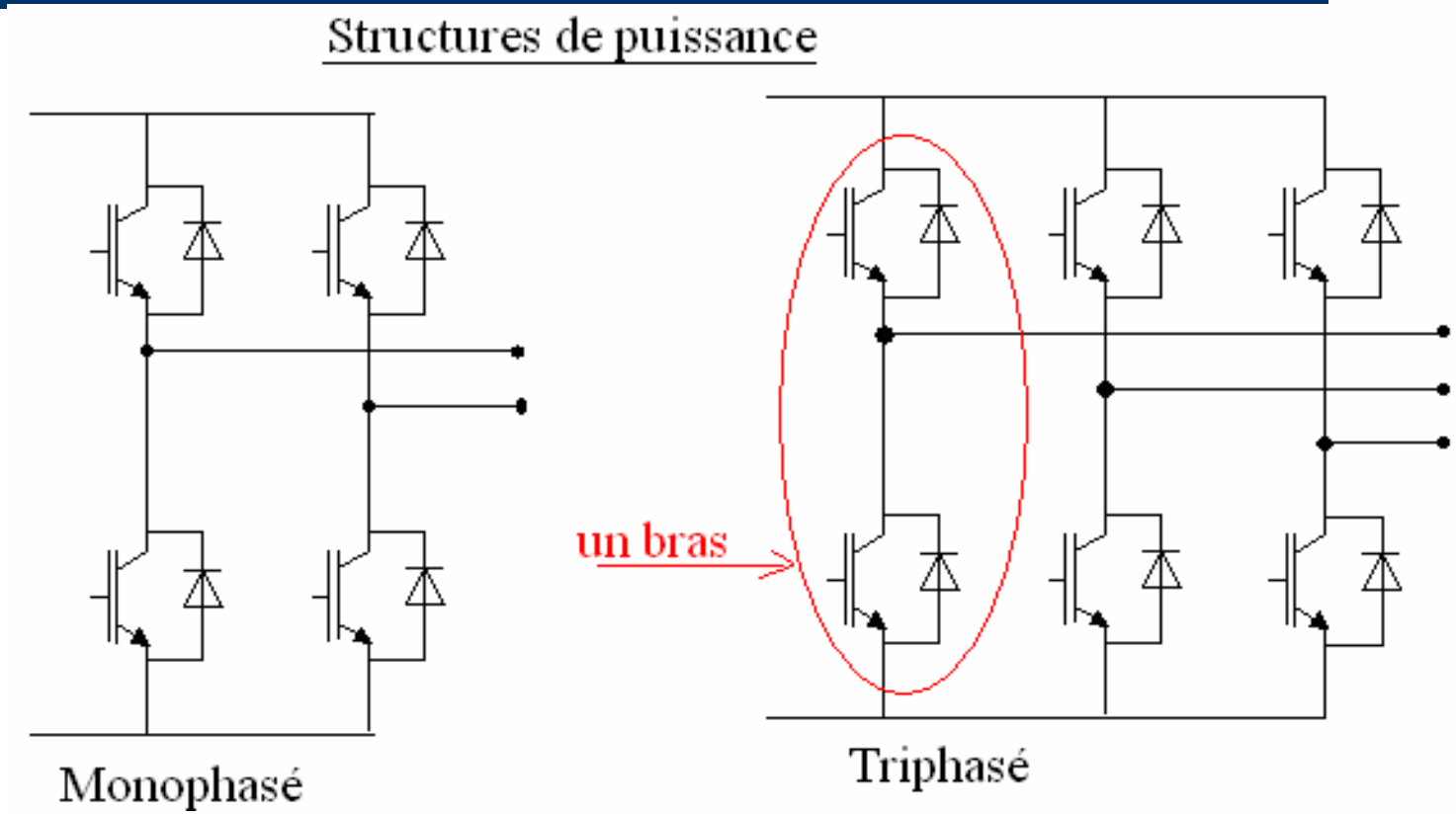
Ces deux interrupteurs forment un ***bras d'onduleur***.

Un onduleur monophasé en pont comporte deux bras tandis qu'un onduleur triphasé en pont a trois bras.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

Le onduleur de tension est déterminée part la structure de puissance du convertisseur (interconnexion physique des interrupteurs à semi-conducteurs) et la manière de les faire commuter d'un état à l'autre (commandes).

Les différents modes de commande :

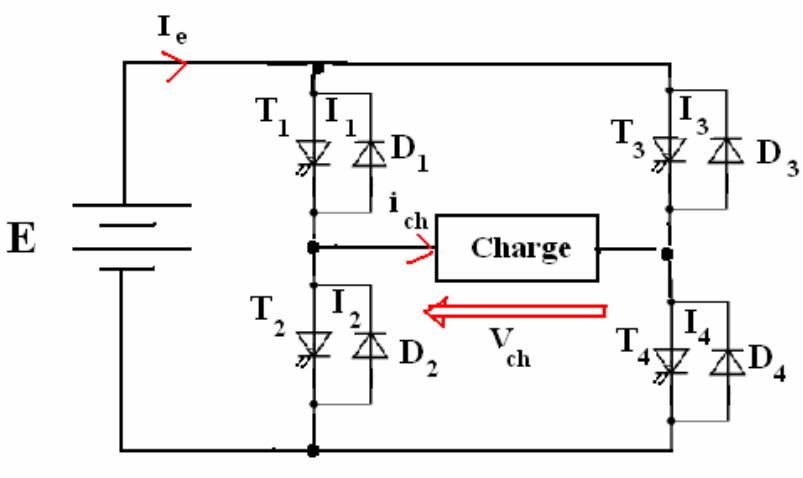
- La commande pleine onde;
- La commande par réglage MLI des tensions;
- Etc.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

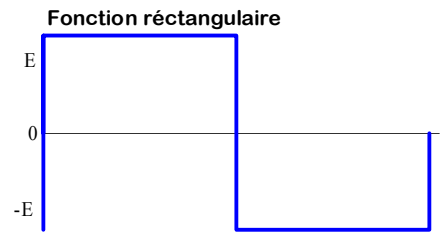
Onduleurs

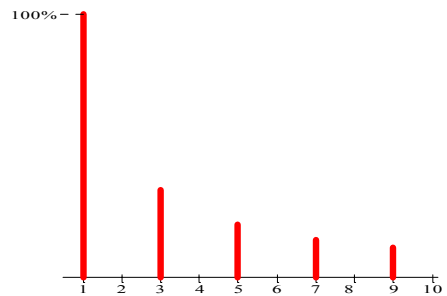
ONDULEUR MONOPHASE EN PONT (Commande 180º) :



On envoie sur les électrodes de commandes des interrupteurs T_1 et T_2 (T_3 et T_4) des signaux complémentaires. Les signaux de commande de T_1-T_2 et T_3-T_4 sont décalés d'un angle θ.

La tension obtenue pour θ=0 est une onde rectangulaire qui comporte beaucoup d'harmoniques



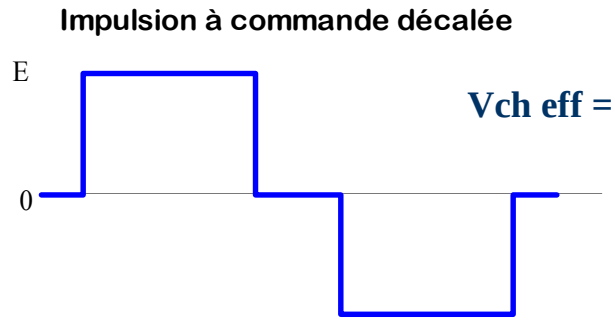


INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

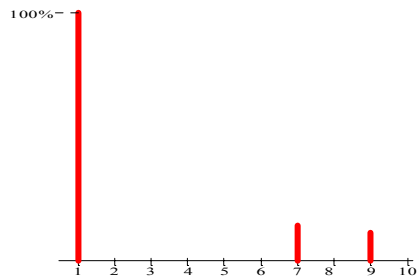
II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

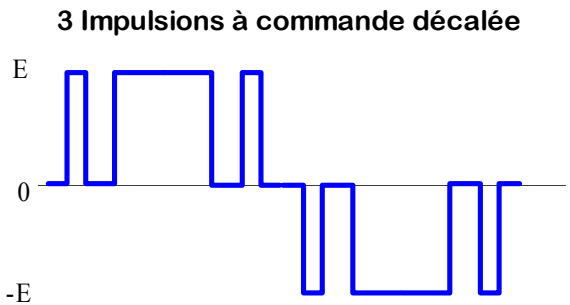
La tension obtenue pour θ>0 est une onde rectangulaire qui comporte beaucoup d'harmoniques

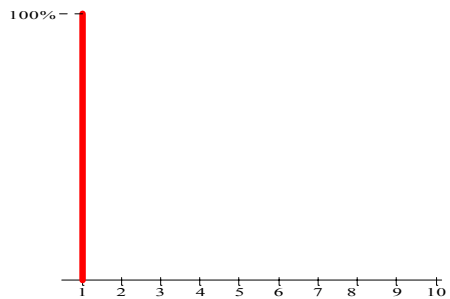


$$Vch\ eff = E*[1-(\theta/\pi)]^{1/2}$$



Avec 3 impulsions, on peut annuler les harmoniques de rang 5 et 7 ainsi que leurs multiples



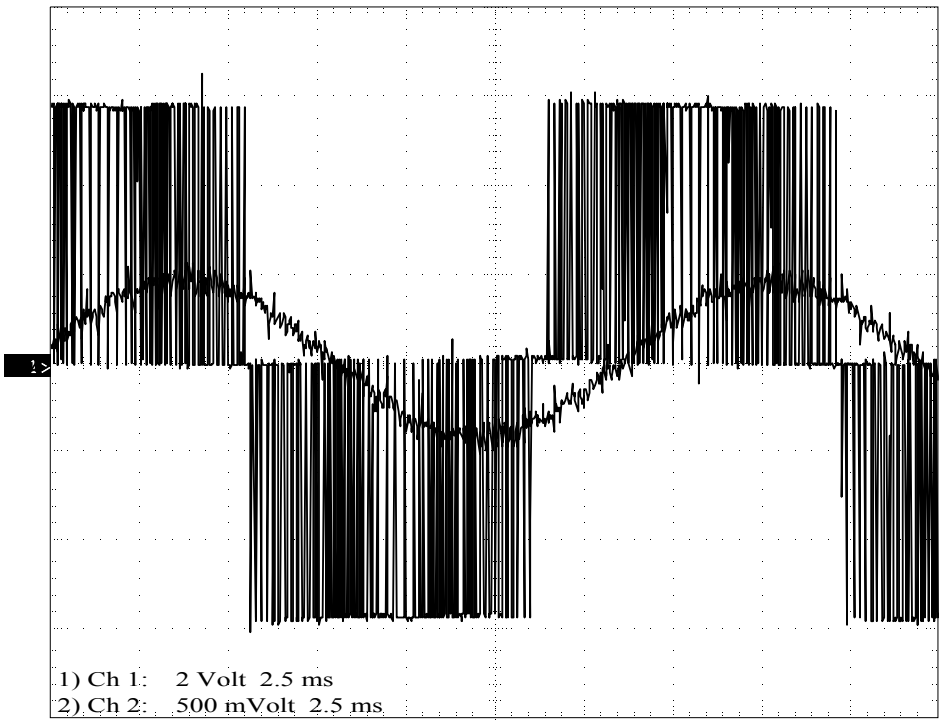


INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

Modulation de largeur d'impulsion: ce découpage génère des harmoniques en haute fréquence, mais ceux ci sont moins gênants car ils seront facilement éliminés

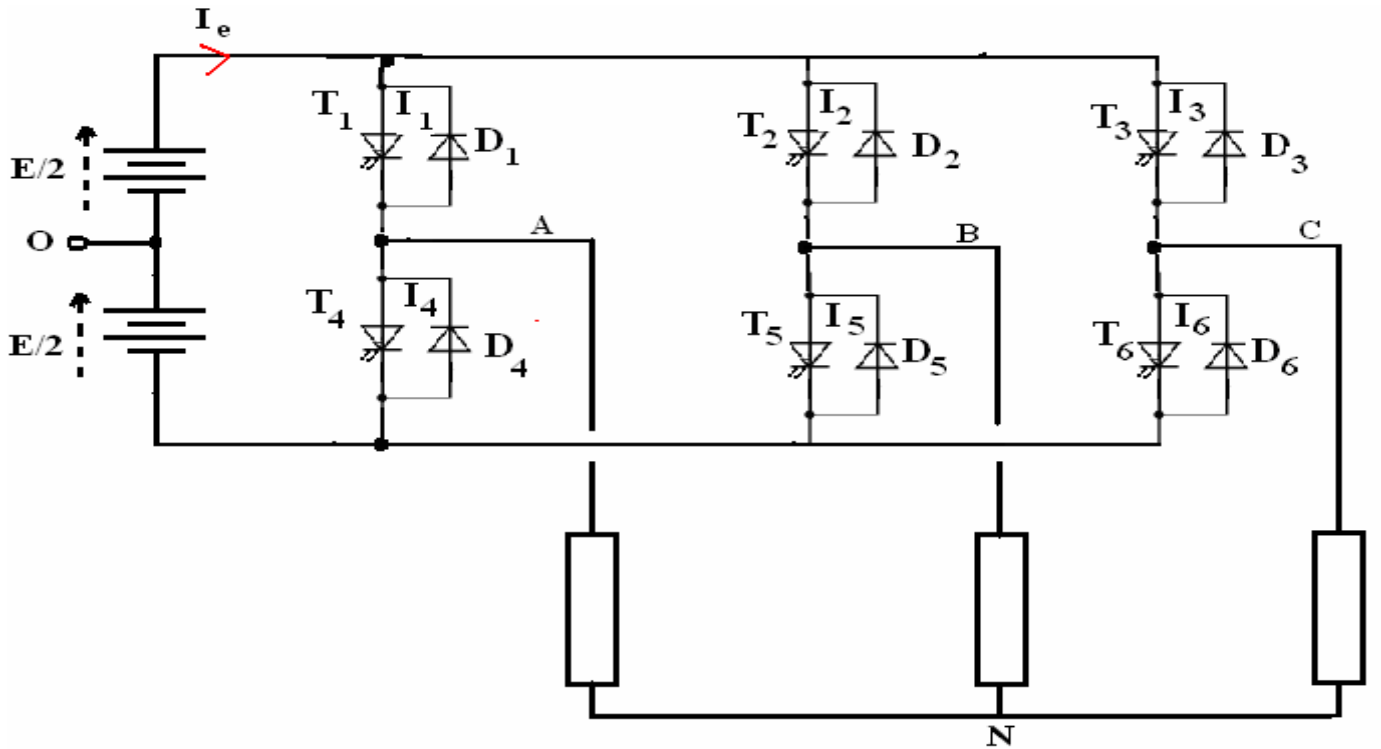


INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

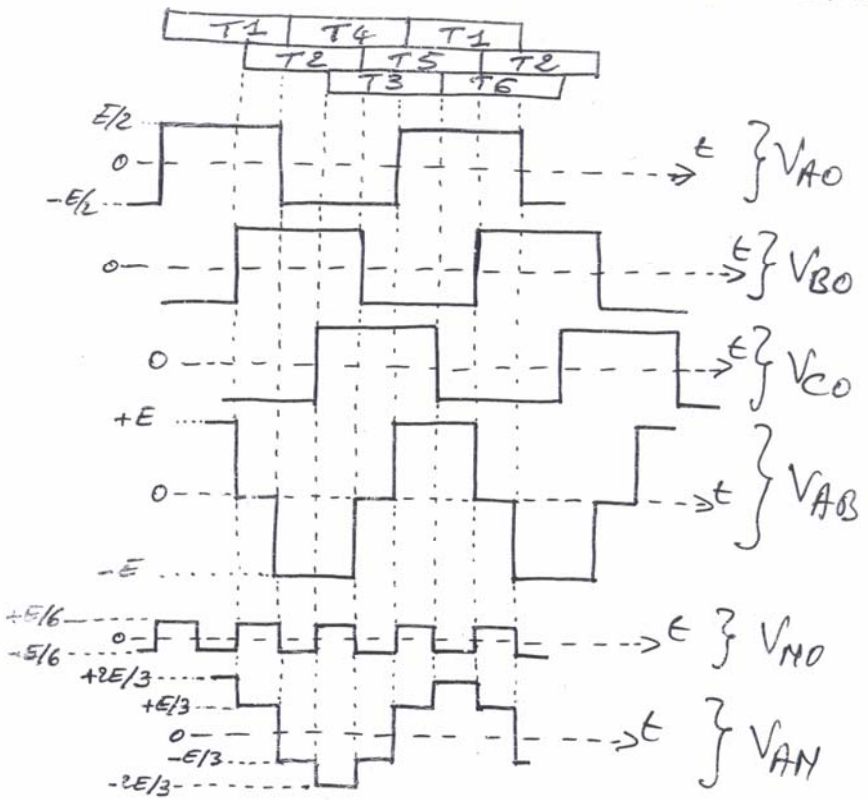
ONDULEUR TRIPHASE EN PONT (Commande 180º) :



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs



Dans le cas d'une commande adjacente (type 180º) chaque interrupteur est commandé pendant 180º. Avec cette commande on impose à tout instant la tension de sortie quelle que soit la nature de la charge.

Remarque :

VAN + VBN + VCN = 0

- ➔ **VNO = (VAO + VBO + VCO)/3**
- ➔ **VAN = VAO - (VAO + VBO + VCO)/3**

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

II - Les convertisseurs statiques (suite)

COMMANDE MLI

Pour s'approcher le plus possible d'une onde sinusoïdale, on module le rapport cyclique de la période de conduction des semi-conducteurs pour obtenir une suite de créneaux de tension dont les moyennes instantanées correspondent à la valeur instantanée de l'onde pendant la période de découpage. Le principe revient à considérer une forme discrète de l'onde sinusoïdale et l'on s'en approchera le plus possible avec un grand nombre de périodes de découpage. C'est pourquoi la fréquence de commande des interrupteurs atteint en général plusieurs dizaines de kHz pour synthétiser une onde sinusoïdale à 50Hz.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

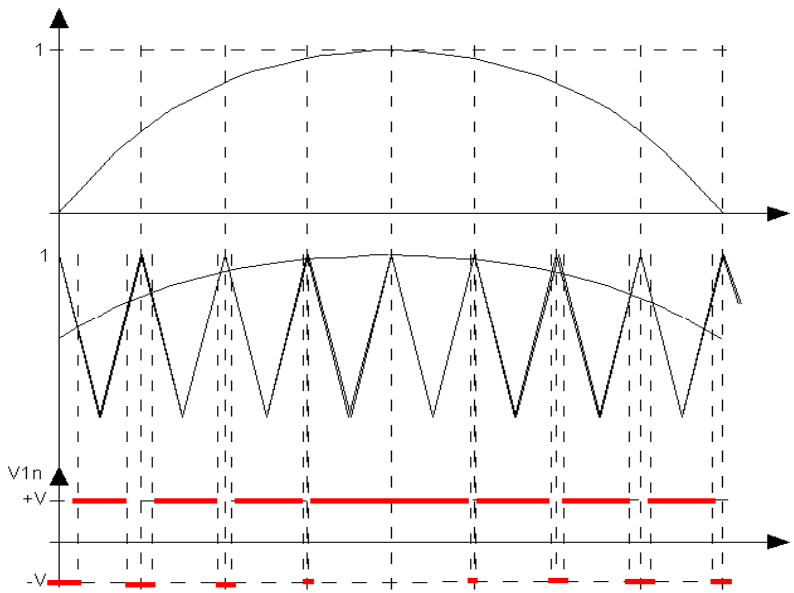
II - Les convertisseurs statiques (suite)

Onduleurs

La modulation s'effectue généralement en comparant la référence de tension (image de la tension désirée) à une porteuse triangulaire. Les intersections définissent alors les instants de commutation comme le détaille la figure ci-dessous :

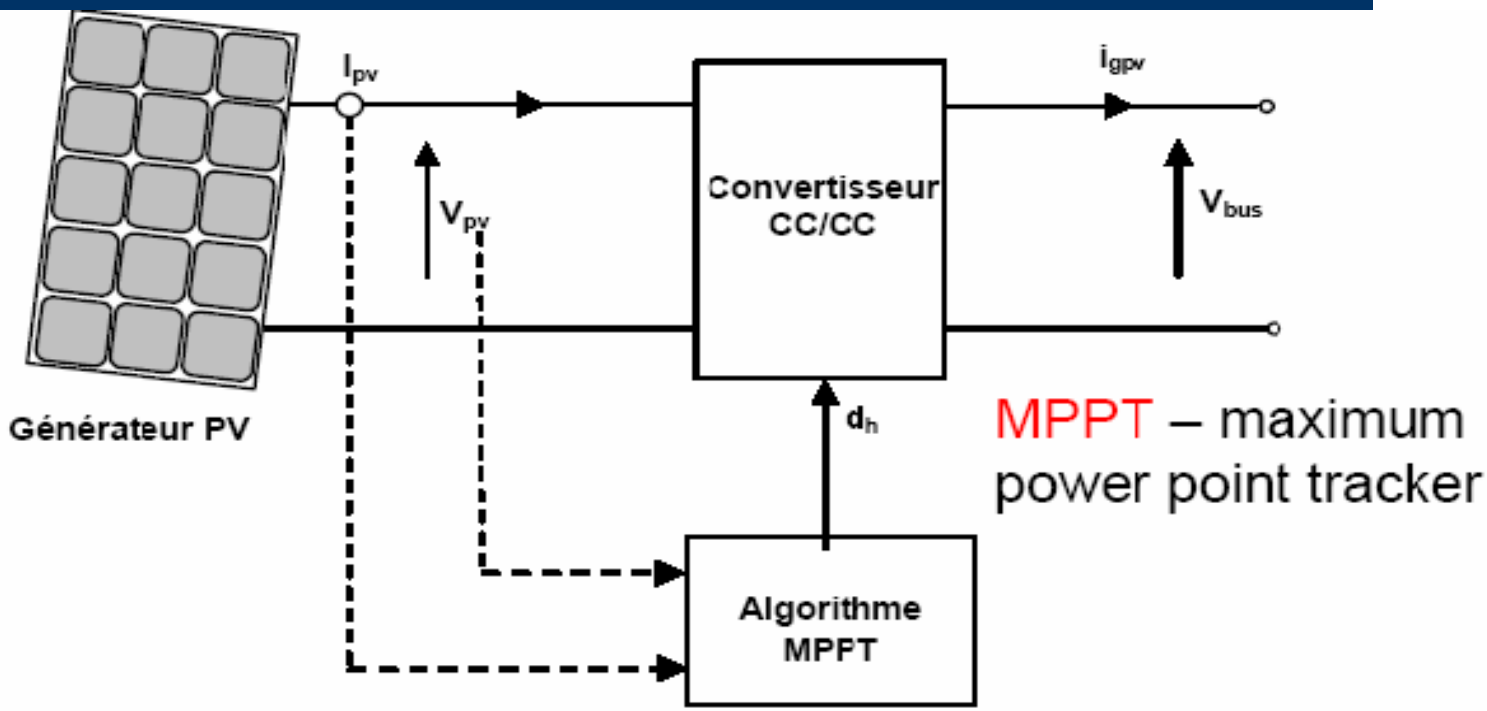
En notant f_o la fréquence de l'onde sinusoïdale et f_d la fréquence de découpage.

Si f_d est choisie suffisamment haute par rapport à f_o, les fréquences harmoniques sont rejetées assez loin et peuvent alors facilement être éliminées par filtrage.



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

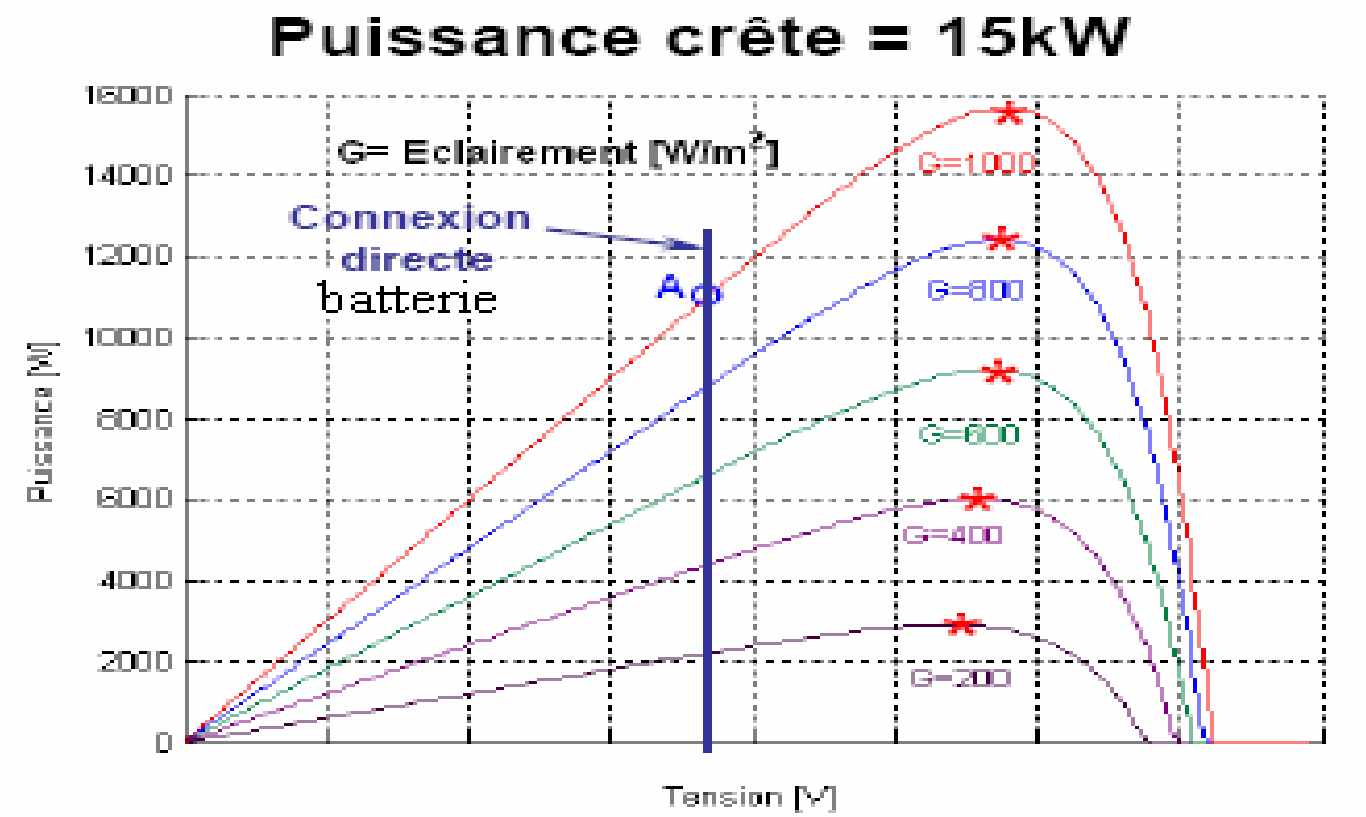
III - Optimisation de transfert d'énergie pour les sources à puissance finie



Convertisseur CC-CC commandé par un algorithme MPPT

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

III - Optimisation de transfert d'énergie pour les sources à puissance finie (suite)



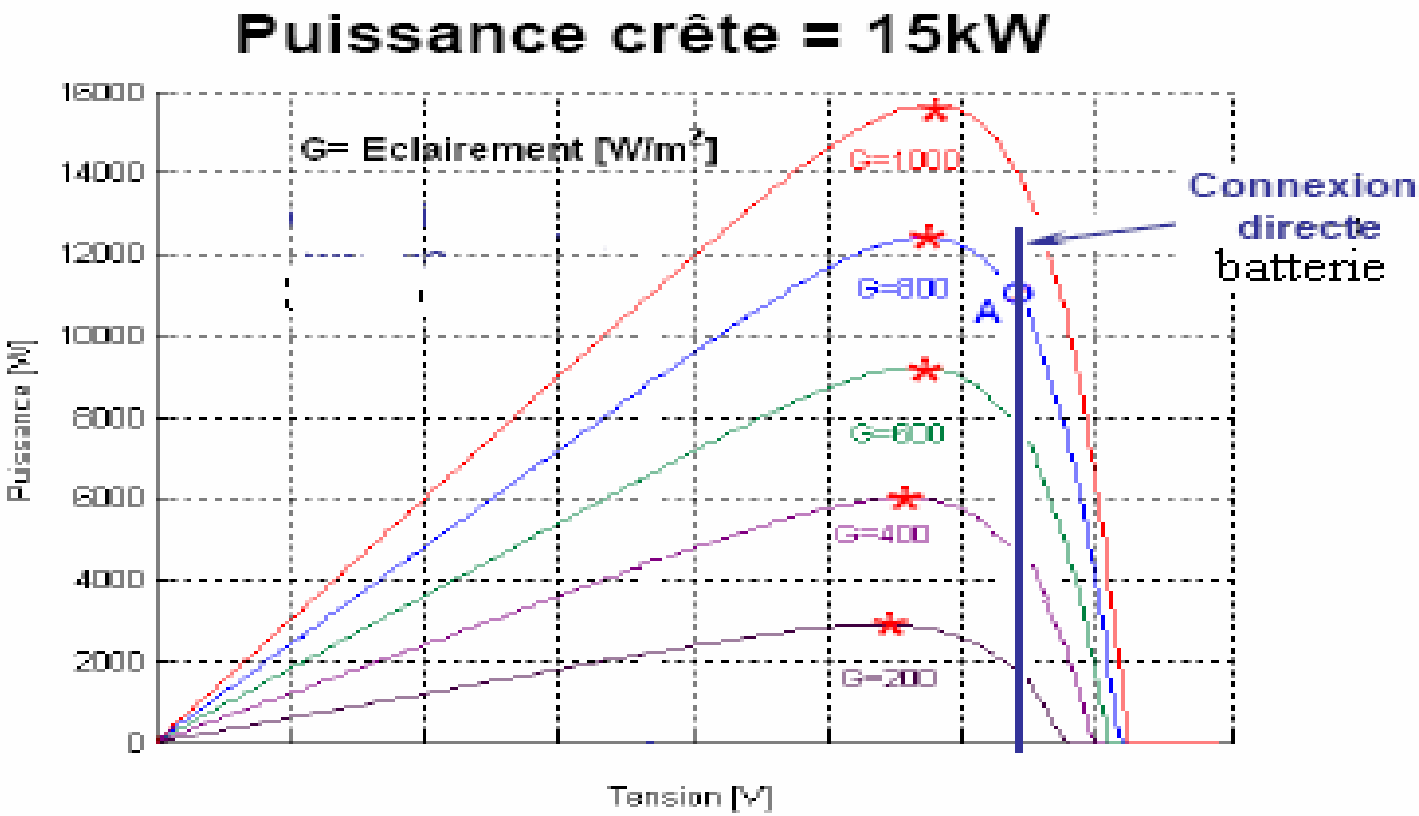
INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
III - Optimisation de transfert d'énergie pour les sources à puissance finie (suite)

TYPE DU CONVERTISSEUR cc-cc

???

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE

III - Optimisation de transfert d'énergie pour les sources à puissance finie (suite)



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
III - Optimisation de transfert d'énergie pour les sources à puissance finie (suite)

TYPE DU CONVERTISSEUR cc-cc

???

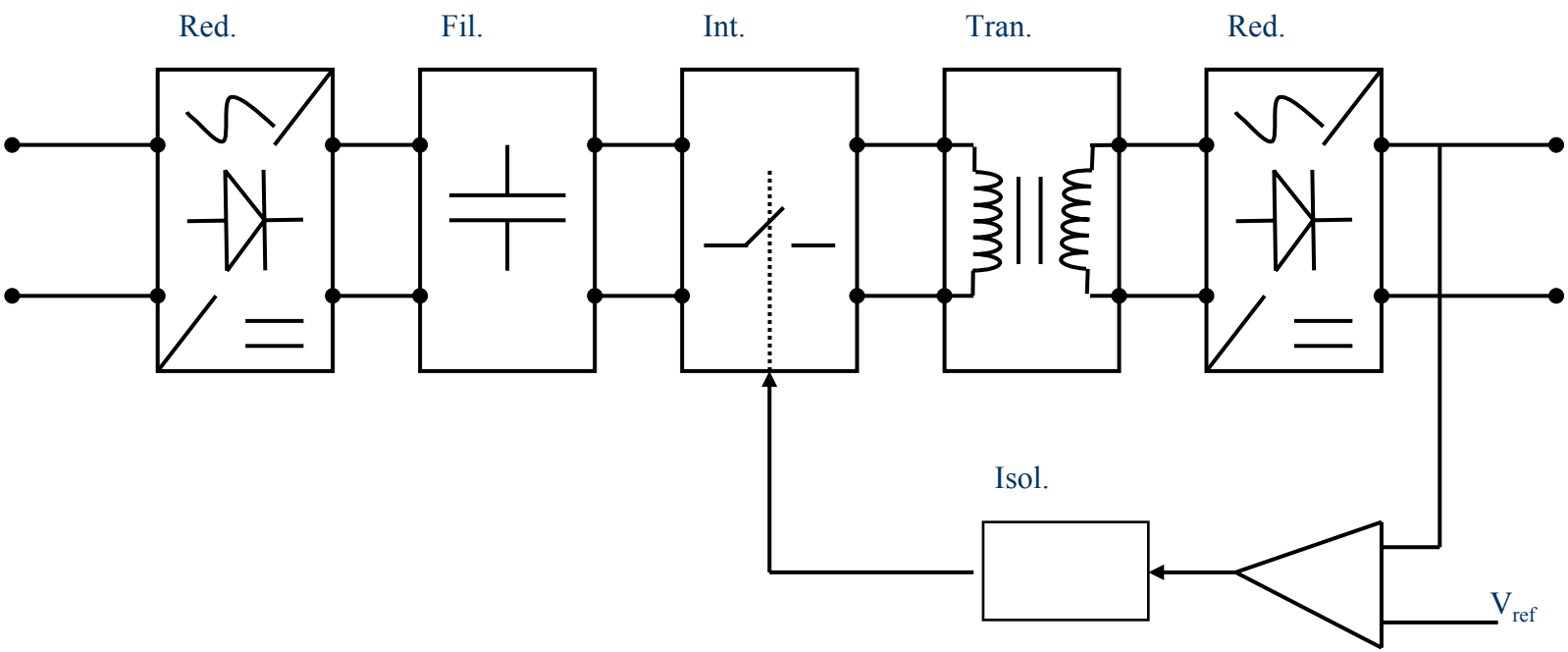
INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
IV – Alimentation à découpage

- Une alimentation à découpage a pour fonction de délivrer des tensions continues en vue d'alimenter des systèmes à partir d'un réseau alternatif. Ces alimentations doivent assurer l'isolement galvanique et réguler les tensions de sortie en fonction de la charge. Elles doivent :

  * avoir un excellent rendement de conversion ;
  * être des systèmes légers et peu encombrants ;
  * permettre la génération de plusieurs tensions isolées et régulées.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
IV – Alimentation à découpage (suite)

PRINCIPES DES ALIMENTATIONS A DECOUPAGE :



INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
IV – Alimentation à découpage (suite)

- Le secteur alternatif est redressé et filtré, si la tension continue n'est pas disponible. La tension continue obtenue est « découpée » par un interrupteur fonctionnant en commutation.
- Ce découpage s'opère à haute fréquence, généralement au-delà des fréquences audibles (20 kHz). L'isolement galvanique est obtenu par un transformateur haute fréquence. La tension continue désirée est générée par redressement et filtrage de la tension découpée.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
IV – Alimentation à découpage (suite)

- La régulation s'effectue par action sur le temps de conduction de l'interrupteur statique (il est nécessaire que la chaîne de retour soit isolée galvaniquement).
- Les alimentations à découpage utilisent les principes des convertisseurs d'énergie continu-continu (hacheurs).
- Le deuxième intérêt du découpage est l'introduction de fréquences de fonctionnement très élevée supérieures à 20 kHz (500 kHz en technologie MOS). Ceci induit une réduction considérable des poids et volume du transformateur d'isolement par rapport à la solution linéaire.

INTERFACES STATIQUES DE PUISSANCE
IV – Alimentation à découpage (suite)

- Les alimentations à sont utilisées dans tous les dispositifs d'électronique de puissance pour assurer l'alimentation des cartes électroniques numériques et analogiques internes.

Merci de votre attention

Gustave SOW et El hadji SYLLA

PARTIE :
CENTRALES HYBRIDES

Contact

gsow@ucad.sn

syllaelhadji@yahoo.fr

LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

I- Généralités

- Introduction

Dans la plupart des régions isolées, le générateur diesel est la source principale d'énergie électrique. Pour ces régions, le prix d'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement. Dans ce contexte, l'interconnexion de plusieurs sources d'énergie renouvelable (des éoliennes, des panneaux photovoltaïques, des petites centrales hydroélectriques, etc.) dans un Système d'Energie Hybride ***(SEH)*** peut avoir une incidence profitable sur la production d'énergie électrique, en termes de coût et de disponibilité.

L'utilisation de cette énergie renouvelable est souvent limitée par la variabilité des ressources. Les fluctuations de la charge selon les périodes annuelles ou journalières ne sont pas forcément corrélées avec les ressources. C'est ainsi que dans ces régions, le couplage de plusieurs sources d'énergie est intéressant par exemple : un ou des groupe(s) électrogène(s), un ou des aérogénérateur(s), et des panneaux photovoltaïques

LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

I- Généralités (suite)

- Cependant, des améliorations dans la conception et le fonctionnement des SEH sont toujours nécessaires pour rendre cette technologie plus compétitive dans ces régions
- Un système d'énergie hybride fait appel à deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources de production d'énergie classique (groupe diesel en général) et au moins une source de production d'énergies renouvelables
- Le caractère aléatoire de la puissance délivrée par les sources d'ER, telles que le PV, l'aérogénérateur fait qu'on leur couple une source d'énergie classique (le groupe diesel par exemple) pour une production continue d'énergie
- Pour de très nombreuses applications d'intérêt très sensible et stratégique comme les relais de télécommunication, les postes frontières, dispensaires etc., hors réseau d'électricité conventionnel, la disponibilité permanente de la source primaire d'énergie est vitale et conditionne dans une très large mesure la fiabilité des installations et leur fonctionnement permanent.

LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

I- Généralités (suite)

- Les solutions technologiques classiques apportées par le stockage électrochimique conventionnel sont trop onéreuses, très limitées techniquement en puissance et très restreintes en capacité. Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif.
- Cependant, ces solutions exigent un dimensionnement laborieux préalable basé sur une connaissance approfondie du gisement en Énergies Renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir-faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer. Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle rendu possible grâce à des logiciels très puissants.

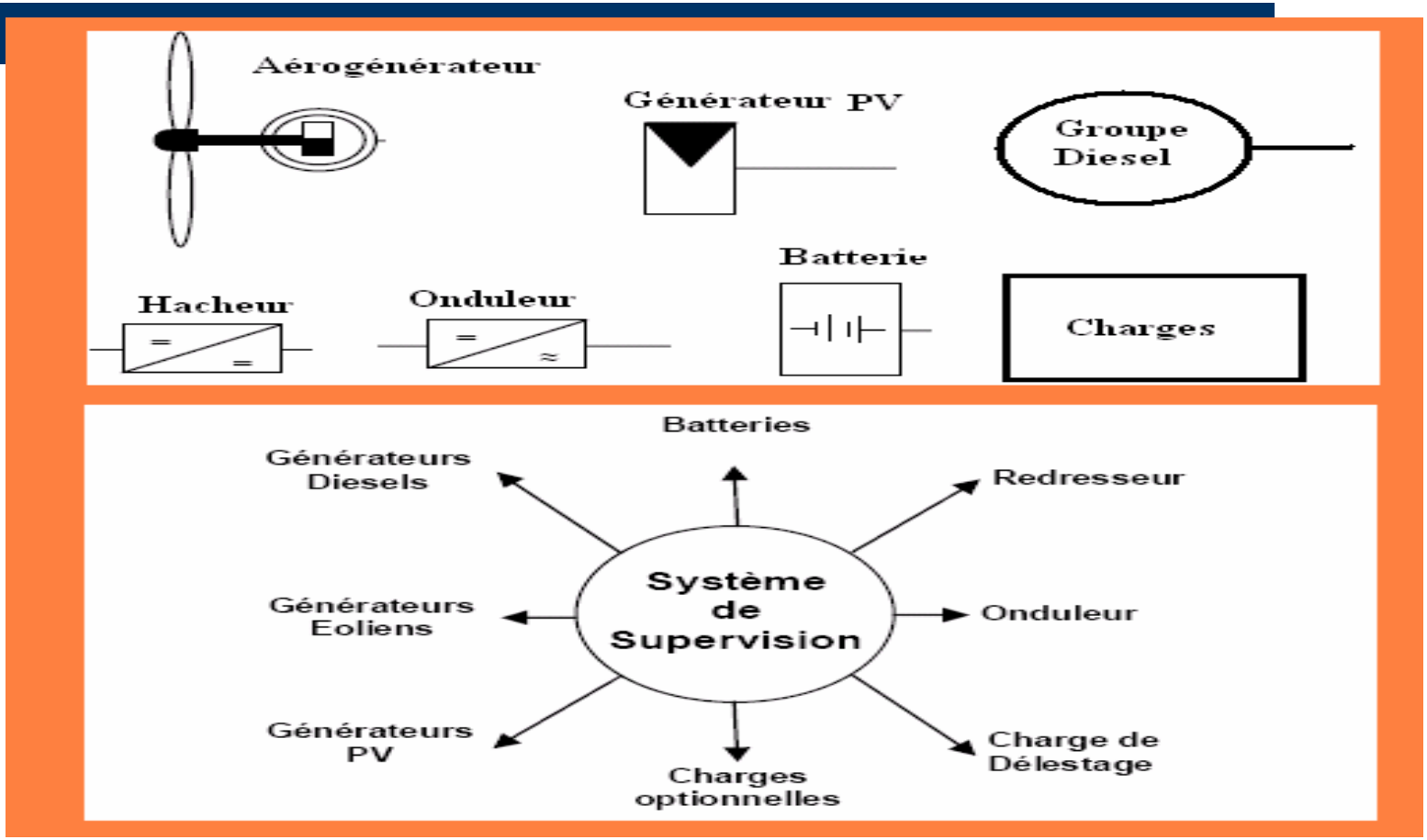
LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

II- Composants d'un SEH

- Les systèmes d'énergie hybride sont en général constitués de sources d'énergie classique (Groupe Électrogène par exemple), des sources d'énergie renouvelable (éolienne, solaire, hydroélectricité, marémotrice, géothermique etc.), des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage (Batterie, volant d'inertie, le stockage hydrogène…), des charges principales et de délestages et un système de surveillance.

LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

II- Composants d'un SEH (fin)



LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

III- Configuration des SEH

- Les générateurs électriques d'un SEH peuvent être connectés en différentes configurations. Ces configurations constitués par des sources d'énergies renouvelables, des batteries et des générateurs diesels se résument en trois :
- Architecture à Bus CC (bus à courant continu)
- Architecture à Bus AC (bus à courant alternatif)
- Architecture à Bus CC-AC

LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

III- Configuration des SEH (suite)

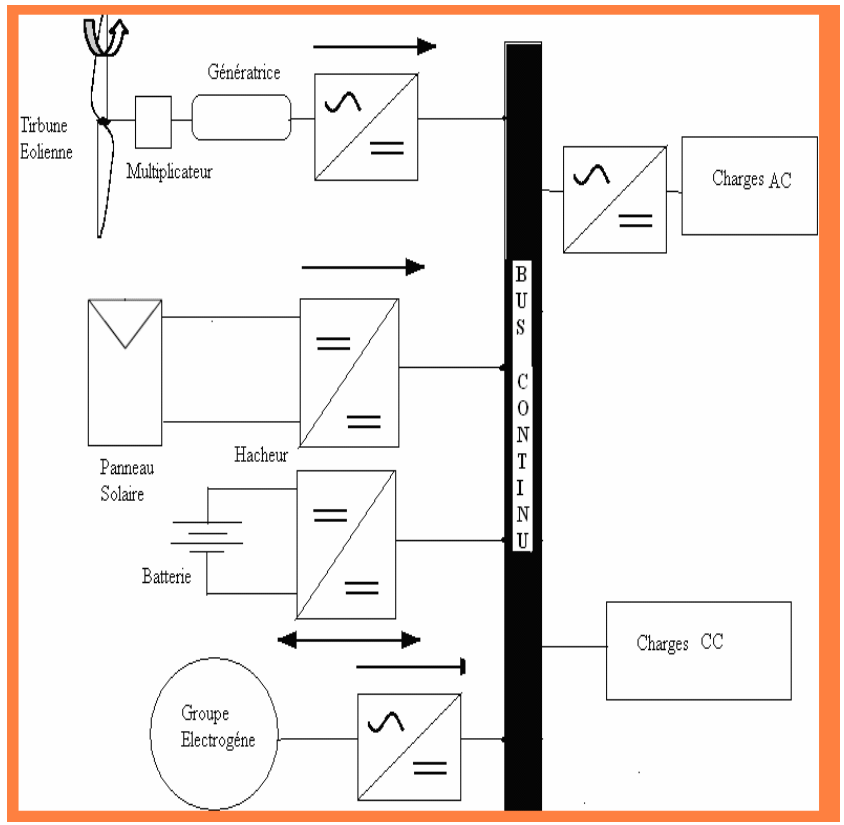
Architecture à bus CC

Avantages:

- La connexion de toutes les sources sur un bus à CC simplifie le système de commande
- Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusqu'à un état de charge de 75-85%

Inconvénients

- Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs
- Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge



LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

III- Configuration des SEH (suite)

Architecture à bus AC

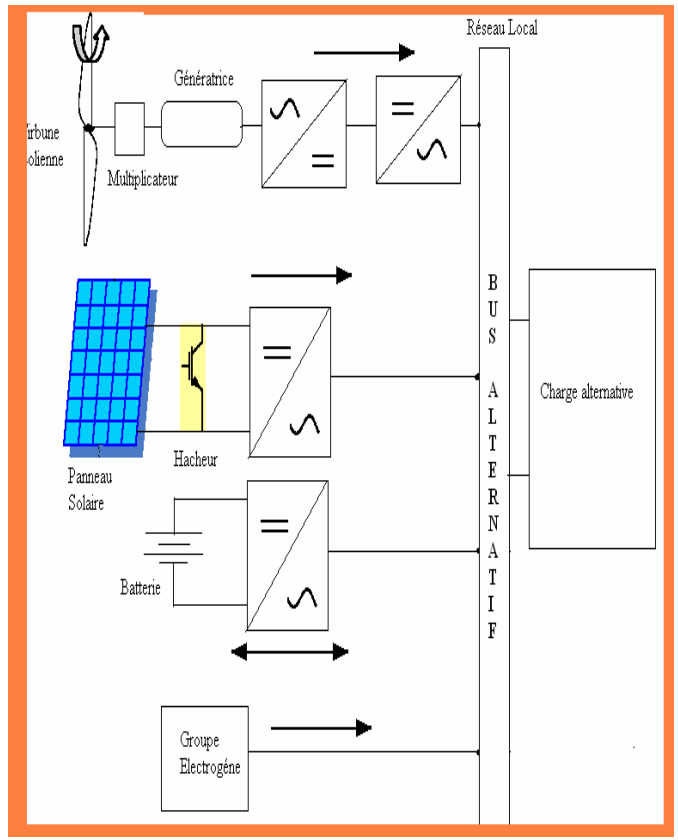
Toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs excepté le Générateur Diesel qui peut fixer la fréquence du bus.

Avantages :

- Un découplage des différents sources de production, ce qui permet d'agir de façon assez indépendante les unes sur les autres.
- Le générateur diesel peut fixer la tension et la fréquence du bus.

Inconvénients

- Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.
- La connexion de toutes les sources sur un bus à CA complique le système de commande
- *Les charges continues pouvaient être connectées directement sur les sources continues ou en utilisant un redresseur*

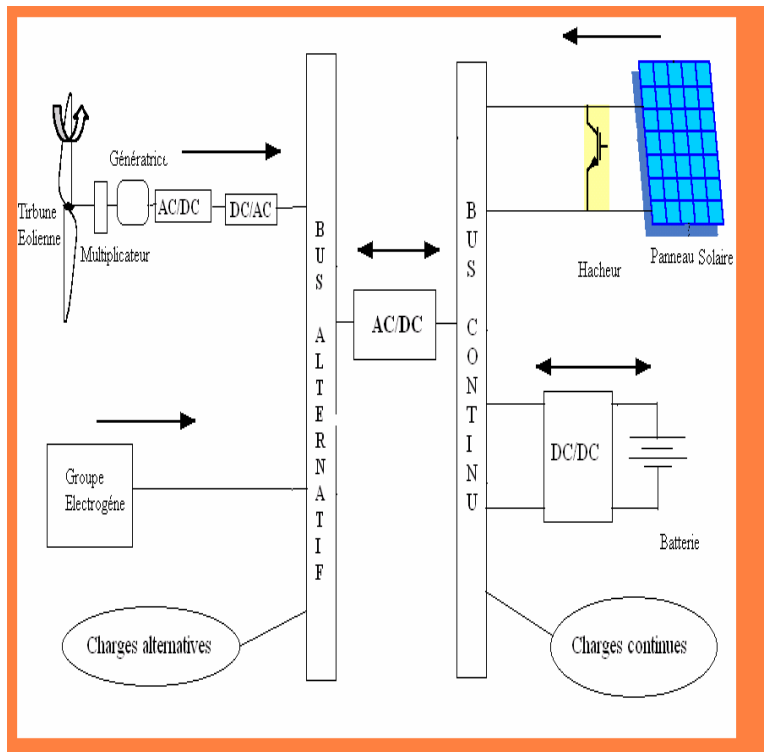


LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

III- Configuration des SEH (suite)

Architecture à bus CC-AC

Dans cette configuration, les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels peuvent alimenter une partie de charge à CA directement, ce qui permet d'augmenter le rendement du système et de réduire la puissance nominale du groupe diesel et de l'onduleur. Le ou les générateur(s) diesel(s) et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle en synchronisant les tensions en sortie. Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui, en fonctionnement normal, réalise la conversion continue-altervnative (fonctionnement onduleur).



LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

III- Configuration des SEH (suite)

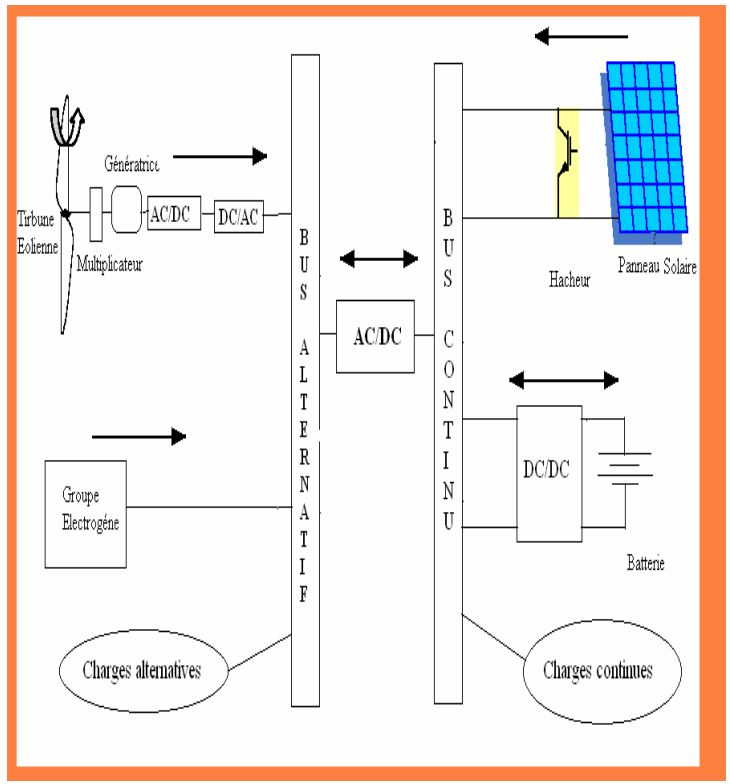
Architecture à bus CC-AC

Avantages :

- Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Les deux sources peuvent fonctionner en parallèle pendant les pics de charge.
- La disponibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système d'alimenter les pics de charges.

Inconvénients

- La réalisation de ce système est relativement compliquée à cause du fonctionnement parallèle (l'onduleur doit être capable de fonctionner en autonome et non-autonome en synchronisant les tensions en sortie avec les tensions en sortie du GD)



LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

IV- Compléments

- La puissance délivrée par les SEH peut varier de quelques watts pour des applications domestiques jusqu'à quelques Mégawatts pour des systèmes utilisant l'électrification des petites îles. Ainsi, pour les systèmes hybrides ayant une puissance en dessous de 100kW, la connexion mixte, bus à CA et bus à CC, avec des batteries de stockage, est très répandue
- Le champ d'application des SEH est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance (tableau). Les seuils de puissance donnés ne sont que des ordres de grandeurs.

Tableau 1 : Classification des SEH par gamme de puissance

Puissance du SEH (kW)	Application
Faible < 5	Systèmes autonomes : stations de télécommunication, de pompage de l'eau, autres applications isolées
moyenne comprise entre : 10 – 25	Micro réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, d'un hameau, des zones rurales…
Grande > 250	Grands réseaux isolés (exemple : réseaux insulaires)

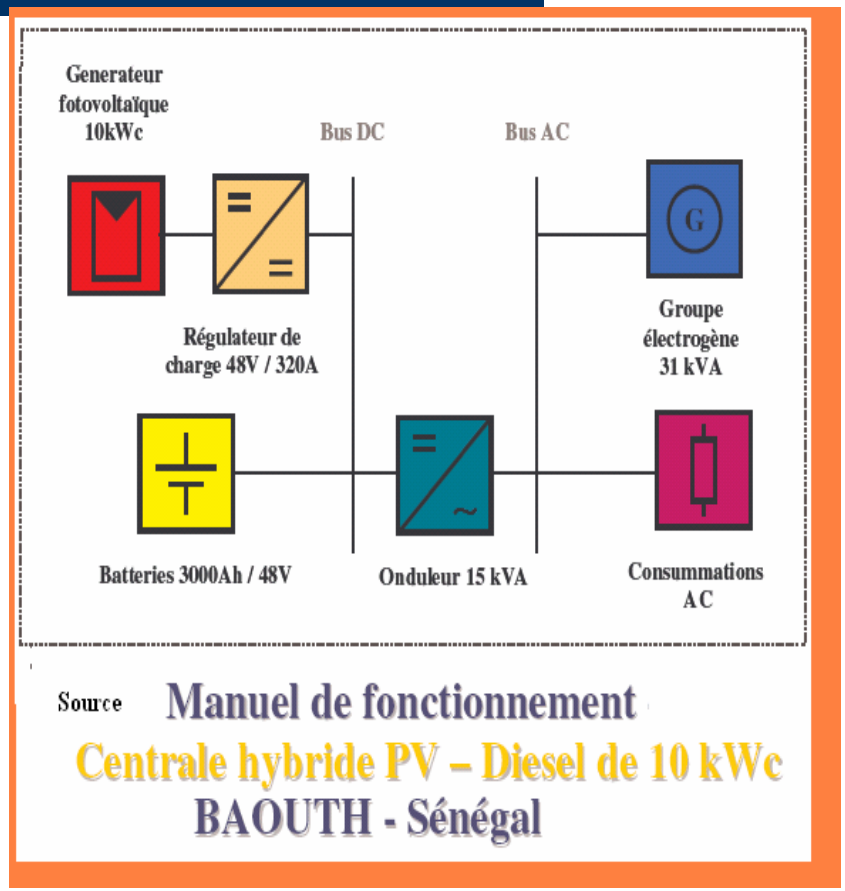
LES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDE

IV- Compléments (suite)

Dans le fonctionnement de cette centrale le groupe électrogène sera utilisé pour la recharge
de batteries et l'approvisionnement pendant les heures de plus haute consommation. Le
groupe fonctionne donc tous les jours, pendant les heures de plus grande consommation, ce
qui permet une économie du dimensionnement de batteries et la maintenance du niveau de
charge des batteries à des niveaux appropriés pendant toute sa vie utile

On retrouve la même configuration dans les autres localités :

- **FELIR**
- **Djinack Barra et Djinack Diatako**
- **Falia**



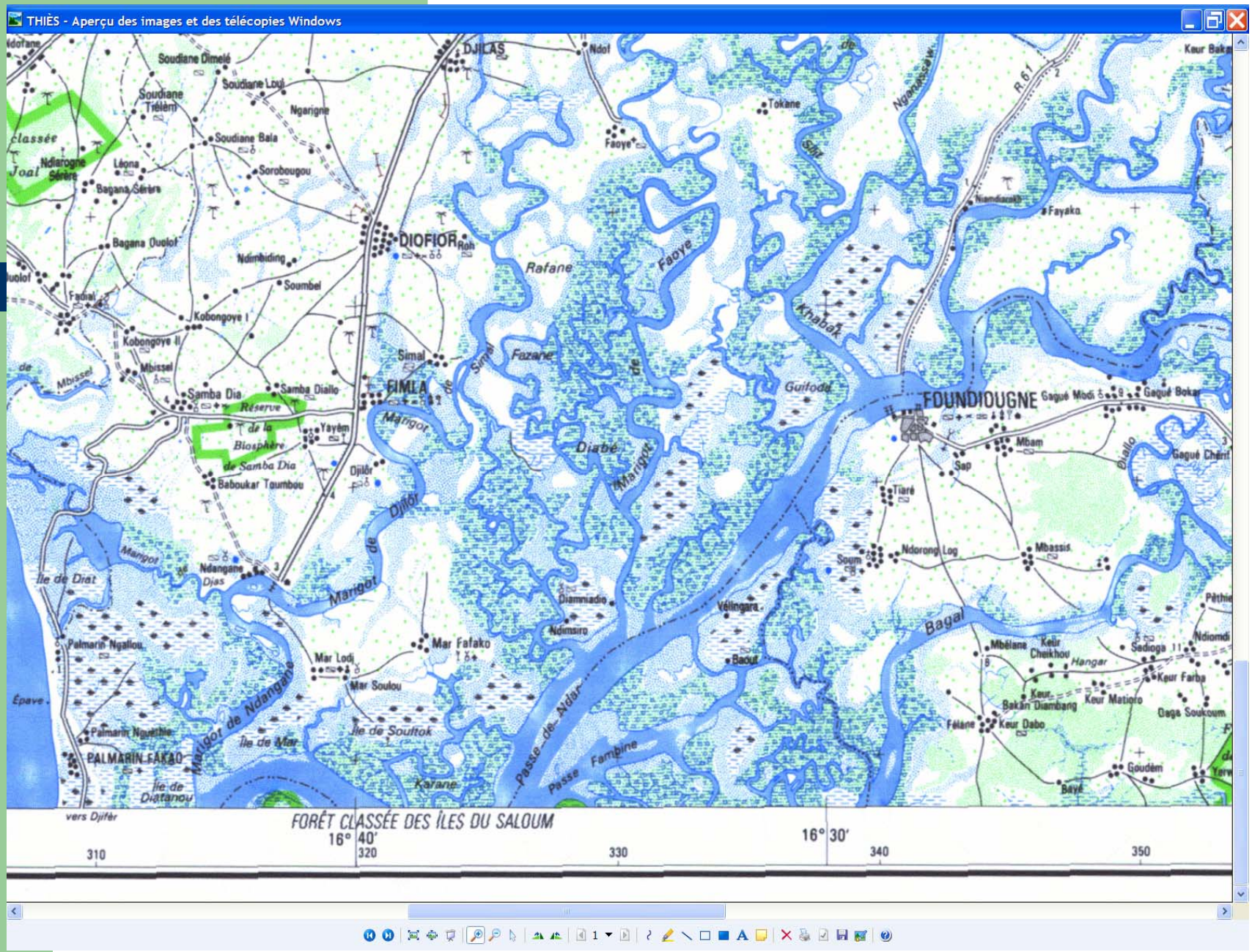
Merci de votre attention

Gustave SOW et El hadji SYLLA

PARTIE :
CENTRALES HYBRIDES du Projet FAD Sénégal / ISOFOTON

PROJET PILOTE D'ELECTRIFICATION DE LA RESERVE DE LA BIOSPHERE DU DELTA DU SALOUM

Présentation M. FAYE



Présentation M. FAYE

Présentation M. FAYE

Le projet, d'un montant de 20 000000 $ US, a été financé par le Royaume d'Espagne. Il vise principalement une zone classée par l'UNESCO comme patrimoine mondial en l'occurrence la réserve de la biosphère du delta du Saloum.

Ce projet comporte deux phases: la distribution de dix mille (10 000) systèmes photovoltaïques individuels et l'installation de neuf (9) centrales hybrides photovoltaïque et diesel.

MISE EN SERVICE DE LA BATTERIE

La charge initiale de la batterie avant sa mise en service conditionne sa durée de vie. Il faut donc la charger jusqu'à la remontée complète de la densité pour tous les éléments sans exception, au niveau et à la valeur de la densité nominale.

- Il faut s'assures d'abord que la source pour charger la batterie est prête à fonctionner avant de retirer les étiquettes sur les bouchons de transport.
- Après avoir enlevé étiquettes et bouchons, commencer le remplissage jusqu'au niveau maxi.
- Laisser reposer pendant 2 heures. Les plaques et les séparateurs s'imprégnant d'électrolyte, le niveau baisse légèrement. Réajuster si nécessaire au niveau spécifié.
- Remettre les bouchons sans les fermer de façon à ne pas faire monter en pression l'élément lors de la charge. Vérifier les polarités à l'aide d'un voltmètre.
- Monter barrettes et câblots. Serrer les vis selon le couple de serrage approprié (25N.m) et mettre les protections.
- Après 2 heures d'horloge au minimum, on peut commencer la charge si la température de l'électrolyte est inférieure à 35°C. Dans tous les cas, il faut arrêter la charge si la température de l'électrolyte atteint 45°C. Et quand la charge est terminée, mettre les bouchons antidéflagrant

MISE EN SERVICE DES CENTRALES

Nous avons deux types de centrales:

-Celles travaillant avec un niveau de tension d'entrée de 48V et qui utilisent 5 onduleurs-chargeurs Phoenix Multiplus en parallèle.

-Celles travaillant avec une tension d'entrée de l'ordre de 240Vdc et qui utilisent une armoire Ingecon Hybrid qui intègre plusieurs fonctions à savoir: onduleur, redresseur-chargeur et régulateur photovoltaïque MPPT.

Une fois que toutes les interconnexions soient réalisées:

- Fermer le magnétothermique principal pour la distribution.
- Fermer celui du groupe électrogène.
- Fermer celui de la batterie.
- Fermer les fusibles d'entrée des branches du générateur PV.

Et à l'aide du terminal interface opérateur (Moundé et Diamniadio), démarrer l'onduleur en appuyant sur ''start ou marcha ''. Pour arrêter le système, il s'agit de prendre la procédure inverse.

L'opérateur interface, en plus de son affichage digital permettant de voir les différents paramètres de marches et défauts, dispose d'un ensemble de leds qui matérialisent l'état de chaque équipement

Démarrage du groupe

Le groupe est piloté par l'onduleur selon la fourchette horaire programmée ou suivant l'état de charge de la batterie. On peut également le mettre en marche manuellement.

Le groupe dispose d'une carte électronique GPM2 qui gère le mode de marche à l'aide d'un sélecteur. Cette carte est munie d'indicateurs lumineux pour matérialiser des alarmes et défauts du groupe.

MAINTENANCE

Elle doit être assurée par un technicien spécialisé. Elle vise principalement l'entretien de la batterie et du groupe électrogène. Les modules PV et les onduleurs requièrent moins de maintenance.

1/ MAINTENANCE DU GENERATEUR PV.

Elle comporte les parties suivantes:

- Nettoyage périodique du panneau.
- Inspection visuelle .
- Contrôle des connexions électriques et du câblage.
- Contrôle des caractéristiques électriques du panneau.

2/ MAINTENANCE DE LA BATTERIE.

- Elle consiste au nettoyage des bornes de connexion et à la surveillance du niveau de l'électrolyte. L'inspection visuelle déterminera les tâches appropriées à mener.
- Des dépôts d'acide sur la partie supérieure des éléments sont souvent occasionnés par le bouillonnement résultant de la compensation de la batterie. Pour éliminer la saleté et les restes d'acide, il est recommandé d'utiliser une solution de bicarbonate et d'eau avec un chiffon pour neutraliser l'acide.

- Le même procédé est applicable à la corrosion des bornes et terminaux de la batterie après quoi on peut améliorer leur état en appliquant un spray nettoyant-protecteur ou de la vaseline neutre.
- Une autre tâche de maintenance à réaliser est la surveillance du niveau d'électrolyte.

La charge de compensation de la batterie s'accompagne avec beaucoup de perte d'eau. Une fois qu'elle est terminée, la batterie doit être rempli avec de ''l'EAU DISTILLEE'' jusqu'au niveau maximum recommandé.

Une inspection visuelle hebdomadaire est recommandée.

INSTRUCTIONS DE SECURITE

- Il est indispensable de disposer de l'eau en abondance dans la salle de batterie.
- Avoir les dispositifs de protection individuelle.
- N'utiliser ni montre, ni bague ou autre objet en métal.
- Utiliser des outils isolés et ne pas placer d'objets métallique sur la batterie.
- Ne pas fumer à proximité de la batterie
- Assurer une bonne ventilation naturelle de la salle.
- Ne pas utiliser d'extincteurs au CO2 mais utiliser ceux du type halon.

Entretien préventif.

- Chaque semaine, il faut:
- Faire une révision visuelle pour détecter d'éventuelles boursouflures des batteries, sulfatation d'électrodes, corrosion de bornes ou de rupture de vase.
- Vérifier le niveau d'électrolyte de chacun des éléments. Ajouter de l'eau distillée si nécessaire, jusqu'au niveau maxi.
- Chaque mois, les opérations à faire sont:
- Contrôler le serrage des bornes entre éléments et vérifier si elles sont bien graissées.
- Nettoyer les bornes en utilisant un chiffon humidifié à l'eau. Ne jamais utiliser de dissolvant.
- Vérifier visuellement s'il y a des dépôts de matériel au fond des éléments de qui puissent court-circuiter les plaques. Cela peut arriver à la fin de la vie utile. On recommande de bouger doucement l'élément et de le remplacer si après cela, les dépôts continuent.
- Réaliser la mesure de tension et de densité de tous les

Éléments. Et s'il y a des déviations de +/-10% entre un élément et la moyenne de toutes les mesures, on doit faire une charge d'égalisation.

ENTRETIEN DU GROUPE ELECTROGENE

- ENTRETIEN HEBDOMADAIRE.

-Vérification de l'état général du Groupe après chaque remplissage de combustible.

-Vérification du châssis (nettoyage, resserrage, etc…).

-Contrôle du niveau d'électrolyte de la batterie.

-Vérification d'état du tableau de bord (nettoyage, resserrage de la carcasse et des connexions électriques).

-Vérifier les signaux lumineux et les fusibles.

-Vérifier les fuites de gaz d'échappement.

- ENTRETIEN MENSUEL.

-Vérification des silent-blocks.

-Vérification de la densité des éléments de la batterie.

ENTRETIEN DE L'ONDULEUR

Il peut être trimestriel.

- Il importe de faire un contrôle de serrage des bornes.
- Le dépoussiérage de l'électronique et des autres accessoires.
- Contrôler les ventilateurs.
- Vérifier visuellement l'état des condensateurs.

JE VOUS REMERCIE DE VOTRE ATTENTION.

Partie :
Planification des centrales hybrides

La Planification ?

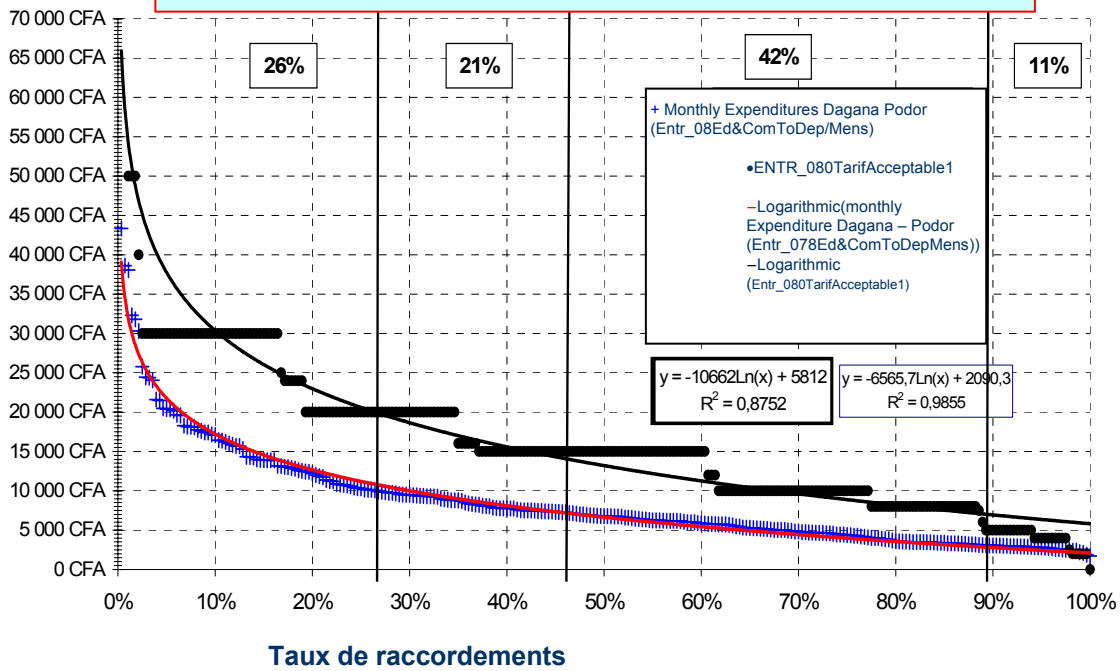
- La planification des équipements d'approvisionnement en énergie électrique des localités locales requiert un démarche prudente et globale. Cette démarche passe par :
- Une analyse adéquate du marché électrique
- Une planification technico-économique des équipements d'approvisionnement

Les enquêtes socio-économiques

- les dépenses substituables des ménages à électrifier
- la disponibilité à payer des usagers
- la capacité de paiement des usagers
- le taux d'équipements prévisible des ménages
- les durées d'utilisation souhaitées de chacun des équipements
- l'évolution du taux d'équipements dans les localités électrifiées
- l'évolution du taux de desserte dans les localités électrifiées
- l'évolution du profil de charge dans ces localités

Segmentation du marché de l'électricité

Dépenses énergétiques substituables
Comparaison entre les dépenses énergétiques substituables et la disponibilité à payer
Enquêtes réalisées par Semis – Transénergie



Identification des paniers d'usages

	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Nombre de lampes	5	7	12	16
Durée d'éclairage journalière (heures)	10	20	30	40
Radio, Radio K7 (heures)	10	10	15	15
Télévision N&B (heures)	0	0	3	0
Télévision Couleurs (heures)	0	0	0	7
Autres usages: vidéo, ventilateur, etc. (Wh/jour)				Réserve pour un appareil

demande électrique entre 24h00 et 6h00

1	3,1	2	1,5	2,2	2,9
2	2,05	1,6	1,2	1,7	2,3
3	1,9	1,6	1,2	1,7	2,3
4	1,95	1,4	1,1	1,6	2,1
5	2	1,4	1,1	1,6	2,1
		8	**6,1**	**8,8**	**11,7**

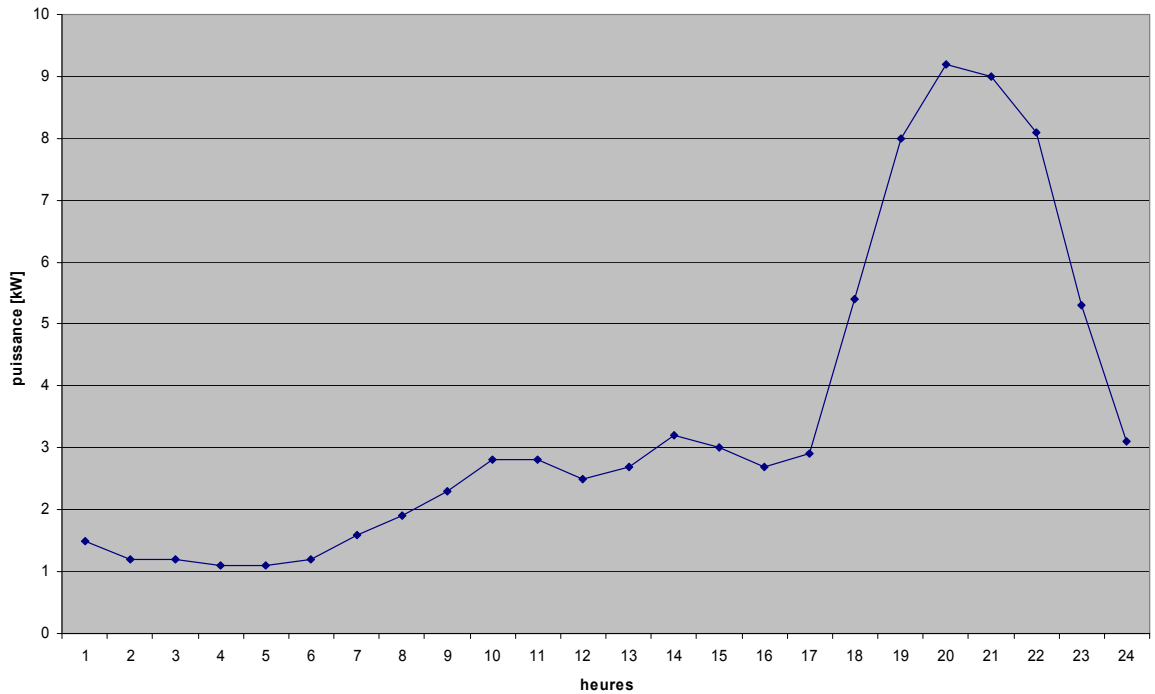
demande électrique entre 06h00 et 19h00

6	2	1,6	1,2	1,7	2,3
7	2,15	2,1	1,6	2,3	3,1
8	3,8	2,6	1,9	2,8	3,7
9	5,2	3,1	2,3	3,4	4,5
10	5,2	3,7	2,8	4	5,3
11	5,1	3,7	2,8	4	5,3
12	5	3,3	2,5	3,6	4,8
13	4,5	3,6	2,7	3,9	5,2
14	4,2	4,2	3,2	4,6	6,1
15	3,9	4	3	4,4	5,8
16	3,8	3,6	2,7	3,9	5,2
17	3,7	3,9	2,9	4,2	5,6
18	3,6	7,1	5,4	7,7	10,3
		46,5	**35**	**50,5**	**67,2**

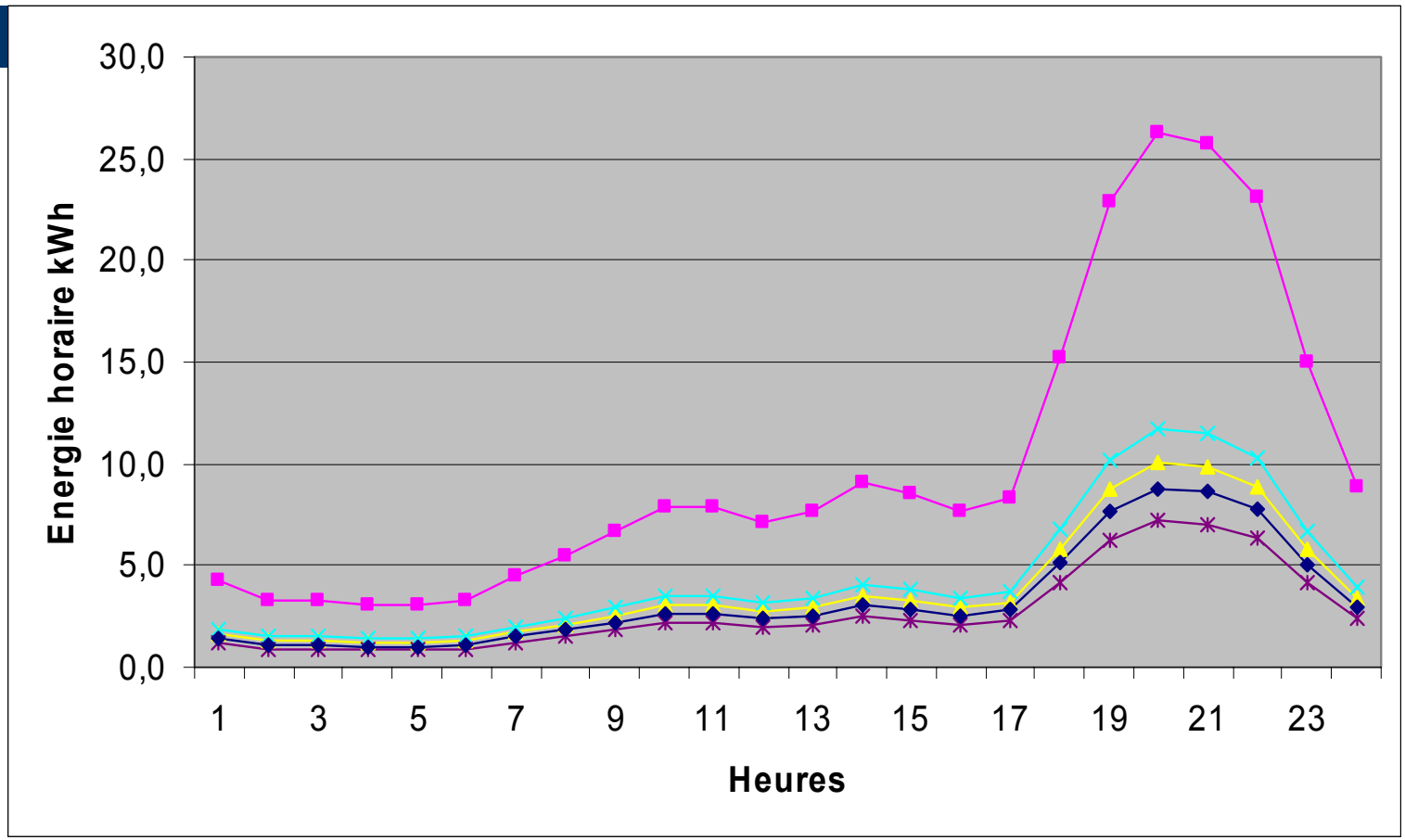
demande électrique entre 19h00 et 24h00

19	4,1	10,7	8	11,6	15,5
20	5,2	12,2	9,2	13,3	17,7
21	8,2	12	9	13,1	17,4
22	9,1	10,8	8,1	11,7	15,6
23	6,4	7	5,3	7,6	10,1
24	3,85	4,1	3,1	4,5	6
		56,8	**42,7**	**61,8**	**82,3**

Courbe de Charge



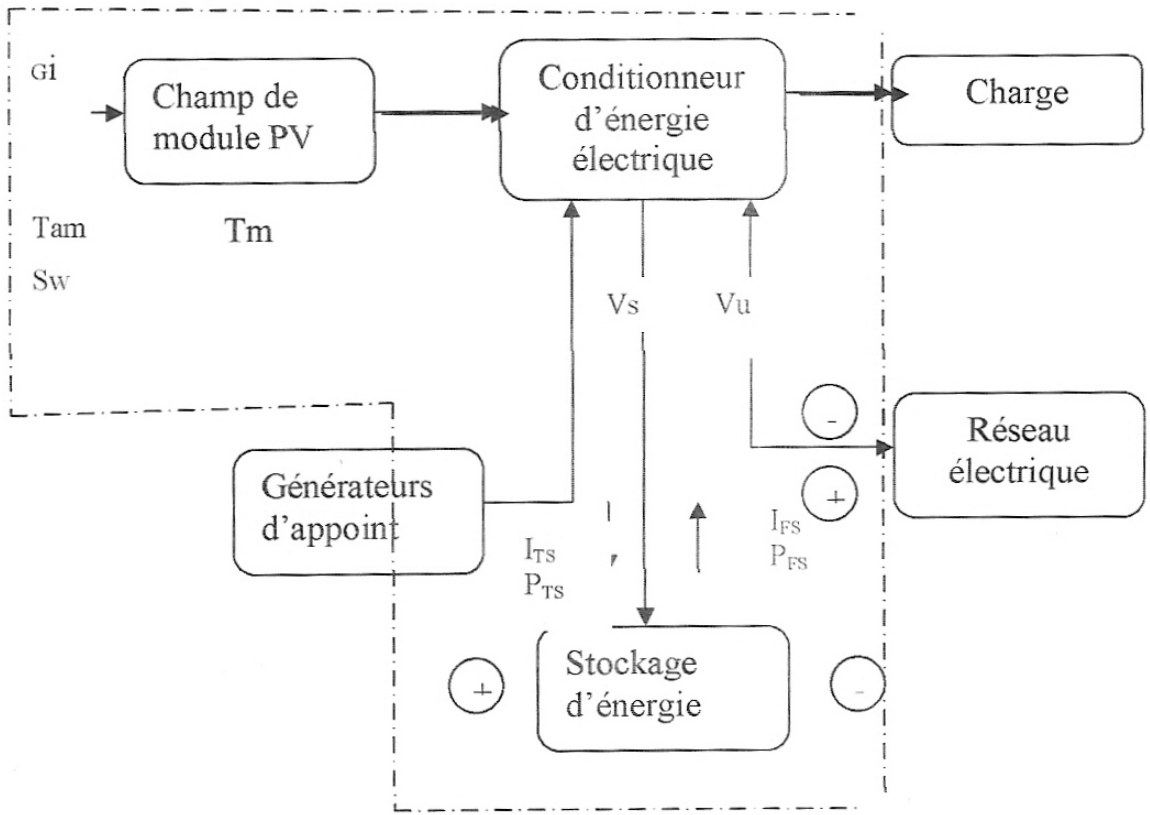
Courbe de Charge



La planification des ouvrages

- Dimensionner les systèmes
- Choisir les différentes composantes
- Planifier la mise en œuvre
  - Installation
  - Suivi de chantier
  - Réception des ouvrages

Le système


Gi
Champ de module PV
Conditionneur d'énergie électrique
Charge
Tam
Tm
Sw
Vs
Vu
Réseau électrique
Générateurs d'appoint
I_{TS}
P_{TS}
I_{FS}
P_{FS}
Stockage d'énergie

D

Dimensionner une centrale

- Dimensionner un système photovoltaïque, c'est déterminer en fonction des sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne photovoltaïque, à savoir la taille du champ photovoltaïque, la capacité de stockage, le cas échéant la puissance d'un convertisseur, la tension d'utilisation, la section des câbles

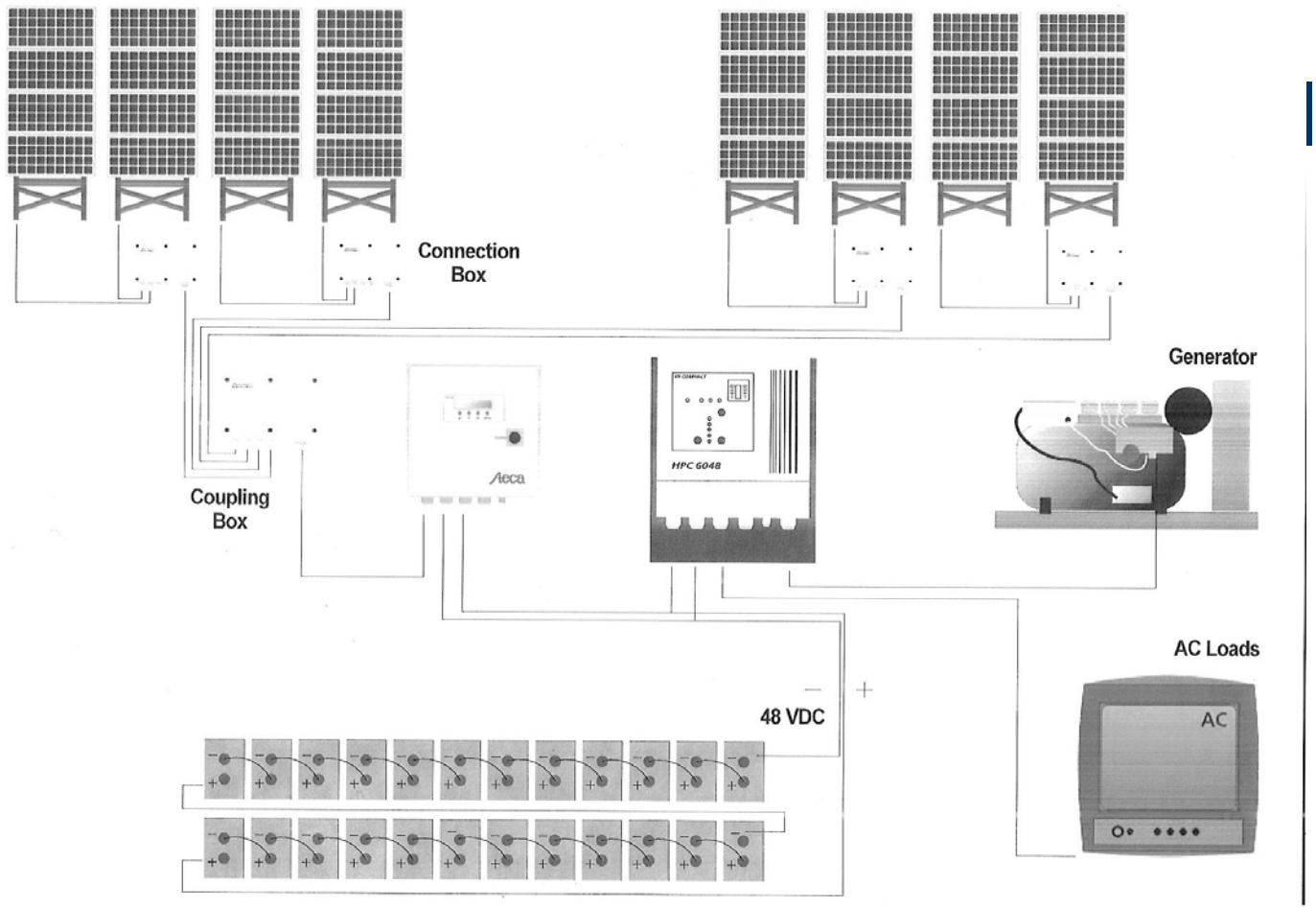
Incertitudes

- sur la demande qui, dans la plupart des cas, est assez grossièrement définie car souvent mal connue et qui subit des fluctuations journalières, hebdomadaires ou saisonnière,
- sur le gisement solaire au sujet duquel on se heurte à un manque crucial de données représentatives

Les Hybrides

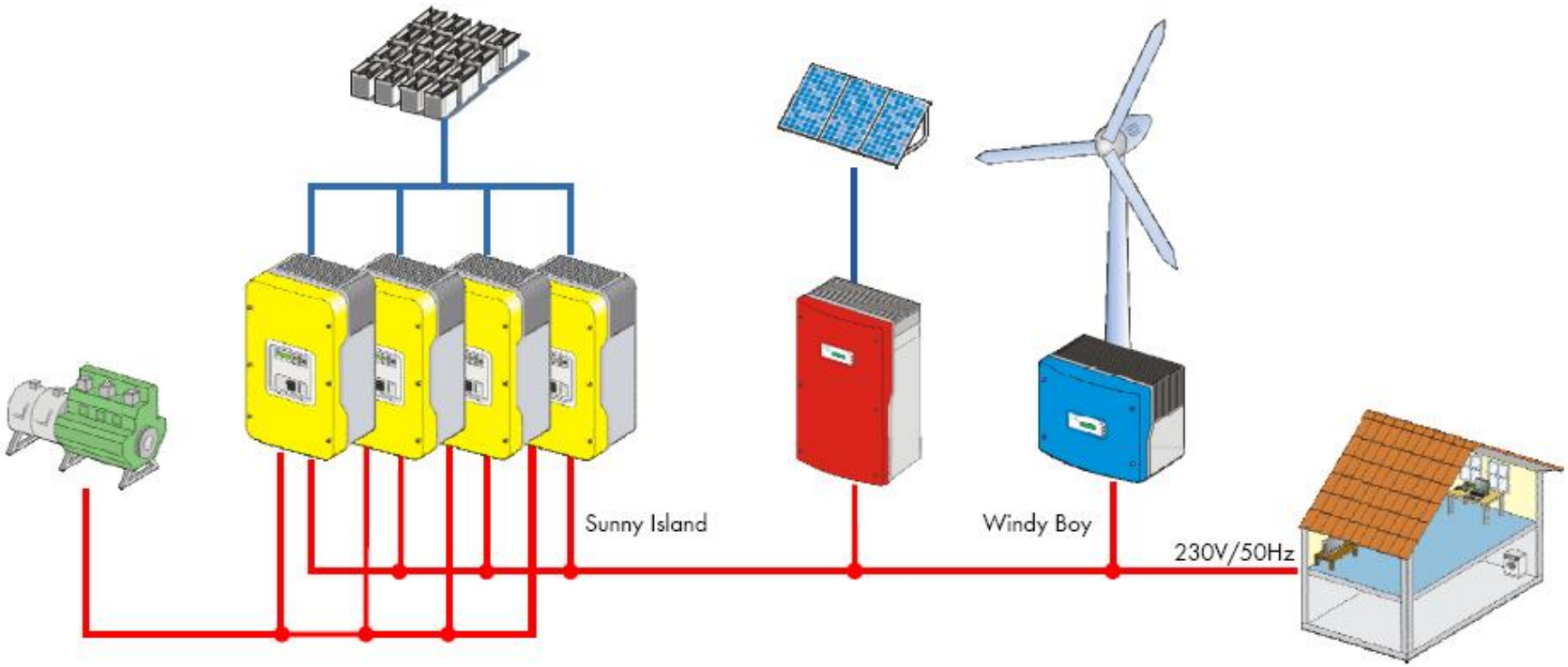
- Dans le cas des systèmes hybrides, la gestion de différentes sources d'approvisionnement soit simultanément soit de façon décalée, nécessite une analyse plus approfondie de la coordination optimale des différentes solutions techniques du système

1. Configuration Onduleur –Régulateur



2. Configuration intégrée

3. configuration Bus AC commun



Dimensionnement configuration 1et 2

- Dans le cas des configurations des fig. 1 et 2 la démarche consiste principalement à déterminer le couple (Champ PV, Batterie) optimal et ensuite dimensionner la taille des autres éléments du Système d'Exploitation de Base (BOS)

Dimensionnement configuration 3.

- Dans le cas de la configuration **BUS AC commun** le champ PV est directement connecté à l'onduleur. Pour cette configuration deux types de dimensionnement sont nécessaires :
- Le dimensionnement du couple (champ PV, Batterie) optimal
- Le dimensionnement champ, Onduleur adéquat.

Puissance onduleur

- ***Une puissance d'onduleur comprise entre 0.7 fois et 1.2 fois la puissance crête du champ***
- Des études ont montré que le ratio entre la puissance de l'onduleur *Po* et la puissance du champ photovoltaïque *Pc* doit être compris entre des valeurs de 0.7 et 1.2 :

$$0.7 < \frac{Po}{Pc} < 1.2$$

La tension maximale admissible par l'onduleur doit être au moins égale à la tension maximale fournie par le champ photovoltaïque, sous peine d'endommager le matériel

- la tension maximale de circuit ouvert *UCO (Module20°C)* du module

$$U_{Ond\ \max} = n_{S\ \max} . U_{CO(Module 20°C)}$$

La tension minimale de déclenchement de l'onduleur doit être au plus égale à la tension minimale fournie par le champ, sous peine de ne pas optimiser la production photovoltaïque.

$$U_{Ond\ \min} = n_{S\ \min} . U_{CO(Module 60°C)}$$

Intensité maximale

- L'intensité maximale admissible par l'onduleur doit être au moins égale à l'intensité maximale fournie par le champ, sous peine d'endommager le matériel.

$$I_{Ond\,\max} = n_{S\,\min} . I_{CC(Module\,60°C)}$$

Paramètres de performances

- Productivité du générateur
- Ya = Ea/Po [kWh/kWc]
- Productivité de référence :
- Yr : G/Gref [kWh/kWc]
- Productivité globale
- Yf : Euse/Po {kWh/kWc]
- Ea énergie produite par le champ PV
- El : énergie consommée
- Eb : énergie fournie par l'auxiliaire
- Eps : Bilan de stockage
- En absence d'auxiliaire Euse = El
- En présence d'un auxiliaire
- Euse = EL/(1+Eb/Ea)
- Ein = Ea+Eb+Eps

Le coefficient de Performance PR
PR = Yf/Yr [%]

- Le coefficient de Performance PR a été introduite au niveau européen pour caractériser les performances des systèmes PV quelque soit les applications.
- Il caractérise l'utilisation de l'énergie potentielle d'un système PV.L'énergie potentielle étant définie dans les conditions de référence.
- Plus sa valeur est élevé plus le système utilise son potentiel plus le système est performant. Dans le cas contraire il y a une perte de production due à un problème technique soit d'adéquation entre la consommation et la production donc un problème de dimensionnement.

La Fraction Solaire :

F = 1/(1+EB/EA)

- Ce coefficient permet d'exprimer le rapport entre l'énergie produite et l'énergie utilisée.
- Dans les cas de, centrales raccordées au réseau et de systèmes autonomes purement photovoltaïques, ce facteur est égal à 1.
- Dans le cas des systèmes hybrides, ce facteur prend une valeur inférieure à 1

Le Matching Factor MF

MF = F*PR

- Dans le cas des centrales hybrides l'utilisation de sources auxiliaires a pour effet de diminuer le MF à travers la fraction solaire F.
- Un bon dimensionnement côté solaire pourrait compenser cette diminution par un très bon coefficient de performance PR

Coefficient d'utilisation UF

- Afin de pouvoir extraire des systèmes qui peuvent présenter des disfonctionnements , le coefficient d'utilisation de l'énergie productible (UF) a été introduit.
- UF = énergie fournie par le champ/productible
- Pour un système ne présentant pas d'anomalie ce coefficient est lié de manière linéaire au coefficient de performance PR

Choix des modules

Type de cellules	Rendement des cellules solaires			Domaines d'applications
	théorique	En laboratoire	Commercialisées	
Silicium monocristallin	27%	24,7%	14 à 16%	Modules de grandes dimensions, espace (satellite)
Silicium multi cristallin	27 %	19,8%	12 à 14%	Modules de grandes dimensions générateurs de toutes tailles
Arséniure de Gallium (GaAS)	29%	25,7%	18 à 20%	Système de concentrateur, espace (satellite)
Silicium amorphe (A-Si)	25%	13%	6 à 8%	Appareil de faible puissance, production embarquée (calculatrice, montres..) modules de grandes dimensions intégration dans le bâtiment
Séléniure de cuivre – Indium- Gallium (GIGS)	27,5%	18,2%	10 à 12 %	Appareils de faibles puissances modules de grandes dimensions (intégration au bâtiment)
Tellure de Cadmium (CdTe)	28,5%	16%	8%	Modules de grandes dimensions (intégration au bâtiment)
Silicium cristallin en couche mince	27%	16,4%	9 à 11 %	Module non spécifique

Choix des batteries

Type de batterie	Durée de vie à (cycles à DOD=80%)	Rendement énergétique [%]	Auto décharge [%/mois]	Température d'exploitation [°C]	Coût [Euro/kWh]	Coût Euro/kWhe
Batterie au plomb/ouvert à plaques planes	600	83	3	- 15 à 55 °C	158	0,27
Batterie au plomb ouvert à plaques tubulaires	1500	80	3	- 15 à 55 °C	174	0,12
Batteries étanches à plaques planes	>500	>90	4	- 20 à 50 °C	164	0,33
Batteries étanches à plaques tubulaires	1000	>90	4	-20 à50%	192	0,19
Batteries Ni-Cd type ouvert	2000	71	10	- 40 à 45 °C	665	0,33
Batteries Ni-Fe	3000	55	40	0 à 40%C	1023	0,34

Prescriptions modules photovoltaïques

- **Le premier certificat de test est ce lui de la conformité à la Norme CEI 61215** : Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre
- Qualification de la conception et homologation
- **Le deuxième certificat est celui de la conformité à la classe électrique II**

Prescriptions Batteries

- batteries à plaques planes ou tubulaires au plomb-antimoine et à électrolyte liquide de type stationnaire adaptées pour utilisation sur des systèmes PV
- l'épaisseur de chaque plaque doit être supérieure à 2 mm.
- le taux d'autodécharge à 25°C ne doit pas dépasser 6% de la capacité nominale par mois
- Le bac de la batterie doit être d'épaisseur et de rigidité suffisante pour supporter sans dommage son transport et sa manutention.
- Le niveau d'électrolyte dans la batterie doit pouvoir être facilement vérifié par l'utilisateur :
- marquage des niveaux minimal et maximal sur des bacs translucides
- La densité de l'électrolyte ne doit pas dépasser 1,24 kg/l à 20°C

Prescriptions Batteries

- Chaque batterie doit être munie d'une plaque signalétique contenant au minimum les informations suivantes :
- nom, monogramme ou symbole du fabricant
- numéro ou référence du modèle
- capacité (Ah) avec indication du régime de décharge
- mois et année de fabrication
- La batterie doit porter un marquage indélébile indiquant la polarité + ou – de chaque borne.
- Les batteries seront livrées avec des capots de protection des cosses.
- Les batteries seront livrées chargées sèches avec les quantités d'électrolyte nécessaires

Prescriptions conditionnement de puissance

- Outre les données fonctionnelles liées au rendement et à l'optimum énergétique de transfert de puissance, les prescriptions les plus importantes concernent surtout les protections contre des phénomènes accidentels
- surintensité
- inversion de polarité
- surtension d'origine atmosphérique
- surtension de manœuvre

Les Logiciels de préfaisabilités

Les logiciels de préfaisabilité automatisent les calculs qu'auraient fait un ingénieurs manuellement. Ces types de logiciels sont sous forme simplifiées :

- **FATE2-P**

Accessible sous :http/www.nrel.gov/international/tools/fate-2p.html

- **Retscreen**

Accessible sous : http//retscreen.gc.ca

Logiciel de dimensionnement

- **HOMER**

  Accessible sous : http//www.nrel.gov/international/tools/HOMER/homer.html
- **Hybrid Designer**

Accessible sous : http//www.edrc.uct.ac.za/hybrid-designer/

- **PVSYST**

Accessible sous : http//www.unige.ch/cuepe/pvsyst/pvsyst/index.htm

Logiciel de simulation

- **Aschling**

Accessible sous : http//www.ici.ro/ici/portfoliu/ashling/ASHLING1.htm

- **Hybrid2**

Accessible sous : http//www.nrel.gov/international/tools/hybrid2.html

- INSEL

Accessible sous : http//www.physik.uni-oldenburg.de/ehf/insel.html

- DesignPro

Accessible sous :
http//www.mauisolarsoftware.com/MSESC/MSESCimages.htm

- **SOMES**

Accessible sous :
http//www.chem.uu.nl/nws/www/research/e&e/somes/somes.htm

- **Solsim**

Accessible sous : http//ewis.fh-Konstanz.de/solsim.htm

- **PSpice.com-design community in action**

Merci de votre attention

Partie :
Introduction à la mise en œuvre des centrales hybrides

Réception à l'Usine

- **Réception des Modules**
- **Marquage**
- Nom et monogramme ou symbole du fabricant;
- Type ou numéro du modèle;
- Numéro de série;
- Polarité des bornes de sorties ou des conducteurs (un code de couleur est autorisé)
- Tension maximale de système pour lequel le module est adéquat
- La date et le lieu de fabrication

Inspection visuelle

Chaque module est examiné avec soin avec un éclairement supérieur ou égal à 1 000 lux pour les conditions suivantes

- Surfaces extérieures cassées, fêlées, vrillées, désalignées ou déchirées;
- Cellules cassées;
- Cellules fêlées;
- Interconnexions ou jonctions défectueuses;
- Cellules touchant d'autres cellules ou le cadre;
- Défauts de collage;
- Bulles ou délamination formant un chemin continu entre cellule et le bord du module
- Surfaces collantes au toucher des matériaux plastiques;
- Connexions défectueuses, parties électriques actives exposées;
- Toute autre condition qui pourrait affecter les performances.

Documentation

- copie du certificat d'homologation des modules photovoltaïques proposés (Norme CEI 61215)
- copie du certificat actualisé attestant que les modules sont de classe II
- courbe Tension-courant des modules proposés aux conditions standards STC et faisant apparaître en outre l'influence de la température et du rayonnement
- Schéma descriptif des structures de support des modules et des fondation

Réception à l'Usine

- **Inspection visuelle**
- **Vérification de la documentation**

Batteries :Marquage

•tension,
•référence au produit du fabricant ou du fournisseur,
•capacité, avec indication du régime exprimé sous forme de courant ou de temps de décharge,
•nom du fabricant ou du fournisseur,
•densité de l'électrolyte (pour une batterie complètement chargée, à la température de référence),
•date de fabrication (mois et année)

Batteries :Documentation

- les caractéristiques techniques des batteries,présentant en outre les caractéristiques de charge et de décharge des batteries
- instructions relatives à la sécurité
- Les instructions relatives à l'installation et la mise en service
- les instructions relatives à l'exploitation
- les instructions relatives à la maintenance
- les documents relatifs aux caractéristiques de l'électrolyte
- la garantie commerciale

Réception du Régulateur de charge

- Inspection visuelle
- Vérification de quelques paramètres fonctionnels
- Vérification des caractéristiques annoncées

Régulateur : Marquage

- le nom du fabricant
- type du régulateur
- le plan de raccordement
- la tension nominale
- le courant nominal
- le courant maximal

Régulateur : Indication

- Les indicateurs de l'état de charge des batteries seront vérifiés :
  - Batterie chargée
  - Batterie à mi-charge,
  - Batterie déchargée
- Les indicateurs des paramètres suivants seront vérifiés:
- tension d'entrée du régulateur de charge
- tension de sortie du régulateur de charge
- courant d'entrée du régulateur de charge
- courant de sortie du régulateur de charge

Vérification des paramètres fonctionnels

- Vérification des seuils de régulation
- Vérification du dispositif de compensation en température
- Vérification de l'intensité maximale admissible
- Vérification de la consommation à vide
- Vérification de la protection contre la surcharge
- vérification de la protection contre les court-circuits
- vérification de la protection contre les surtensions
- vérification de la protection contre l'inversion de polarité
- Vérification de la protection contre l'absence de batteries

Régulateur : Documentation

•Le régulateur de charge sera livré avec un manuel d'installation et de fonctionnement contenant :
•les caractéristiques techniques du régulateur de charge,
•la plage de température qui garantie le fonctionnement nominal du régulateur de charge,
•la classe de protection du boîtier,
•Les instructions relatives à l'installation
•les instructions relatives à l'exploitation
•les instructions relatives à la maintenance
•les instructions relatives à la recherche de panne
•la garantie commerciale

Réception Usine de l'onduleur

- Vérification de la conformité des caractéristiques annoncées par le fournisseur
- L'inspection visuelle
- La validation des résultats des essais de type effectués sur les onduleurs.

Marquage

- le nom du fabricant
- type /modèle de l'onduleur
- numéro de série
- la tension nominale d'entrée
- le courant nominal d'entrée
- la tension nominale de sortie
- le courant nominale de sortie
- l'indication des polarités aux points de connexion

Réception Usine de l'onduleur

Documentation

Les onduleurs seront livrés avec un manuel d'installation et de fonctionnement contenant :

- les caractéristiques techniques du régulateur de charge,
- la plage de température qui garantie le fonctionnement nominal de l'onduleur,
- la classe de protection du boîtier,
- instructions relatives à la sécurité
- Les instructions relatives à l'installation
- les instructions relatives à l'exploitation
- les instructions relatives à la maintenance
- les instructions relatives à la recherche de panne
- la garantie commerciale

Réception provisoire sur site

- CHARGE PREALABLE DES BATTERIES

Vérification Dimensionnement de la ventilation (aération) du local batterie

RECEPTION PROVISOIRE Module
Réception visuelle (voir fiche)
Mesures (voir fiches)

RECEPTION PROVISOIRE Régulateur
Réception visuelle (voir fiche)
Mesures (voir fiches)

RECEPTION PROVISOIRE Onduleur
Réception visuelle (voir fiche)
Mesures (voir fiches)

Merci de votre attention

PARTIE:
LE LOGICIEL HOMER

Contact

gsow@ucad.sn

syllaelhadji@yahoo.fr

Présentation de HOMER

Prise en Main du Logiciel de Dimensionnement HOMER

Comprendre et maîtriser HOMER

Pouvoir utiliser HOMER pour le dimensionnement et la configuration des systèmes d'énergie hybride

Pouvoir analyser et interpréter les résultats obtenus avec HOMER

Cas pratique de dimensionnement

Présentation de HOMER

Quand vous concevez un système d'alimentation, vous devez prendre beaucoup de décisions au sujet de la configuration du système :

- Quels composants faut il inclure dans la conception du système en tenant compte de leur taille ?
- Le grand nombre d'options technologiques, la variation des coûts ces technologies et la disponibilité des ressources énergétiques,

Ces facteurs rendent difficile la décision à prendre

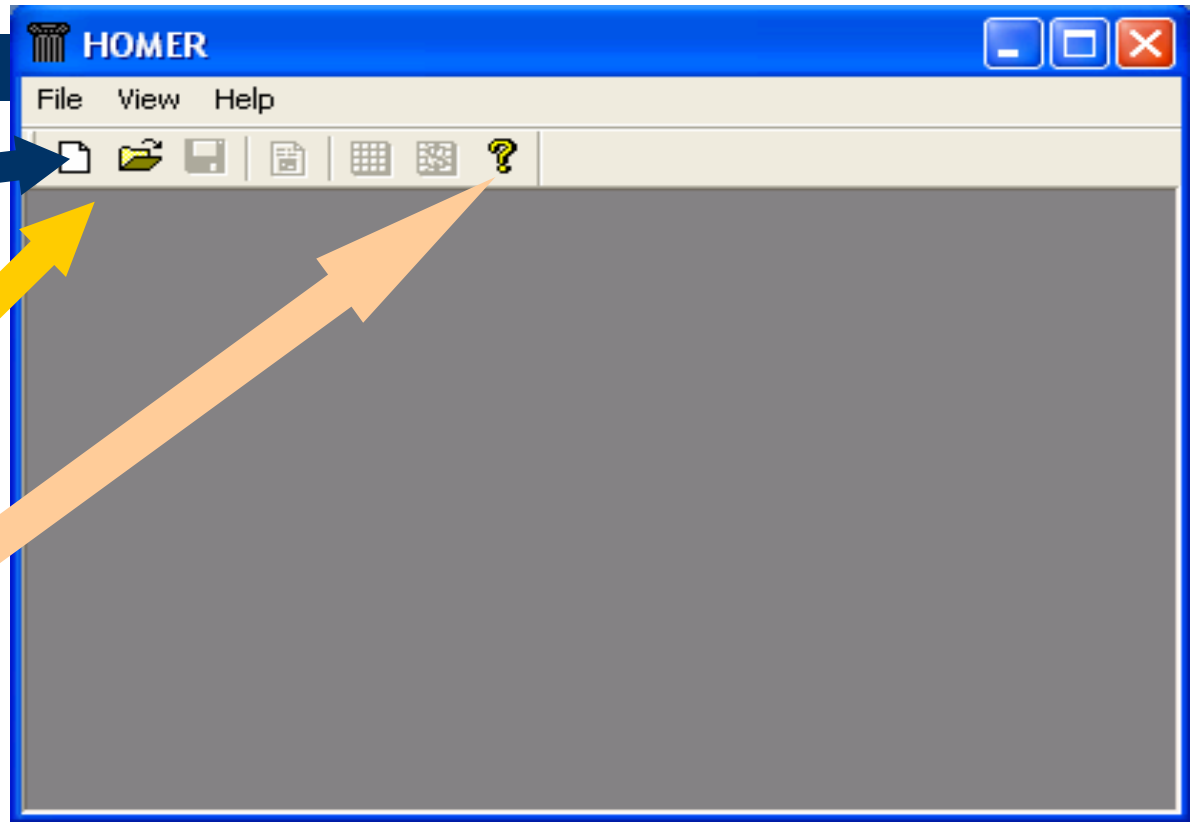
Les algorithmes d'analyse de l'optimisation et de la sensibilité de Homer facilitent cette décision pour l'évaluation des nombreuses configurations de système possibles.

Comment utiliser HOMER, ou mieux Comment travailler avec Homer

Espace de travail

Pour ouvrir un document Homer

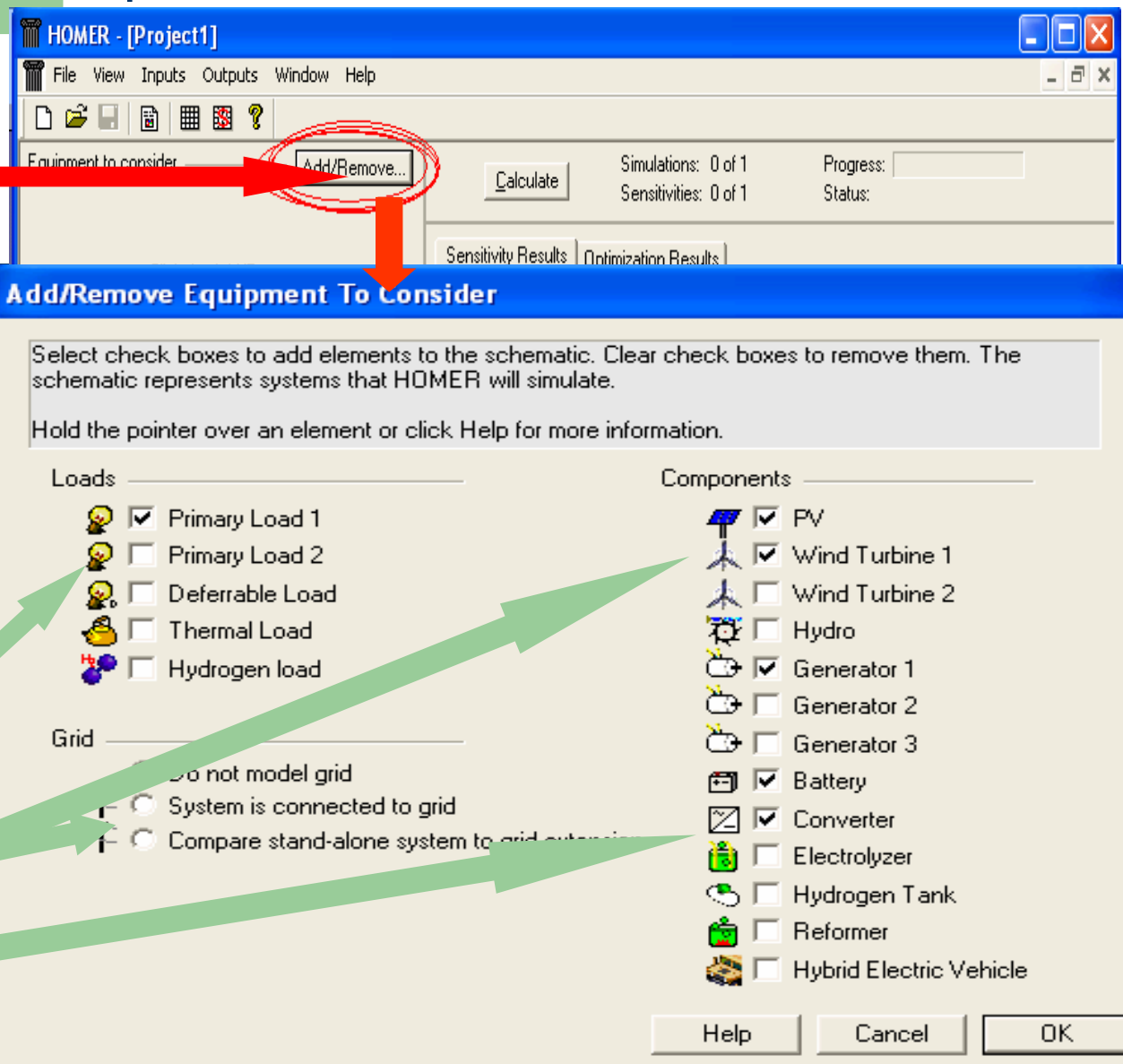
Pour chercher de l'aide



Fenêtre de HOMER

Espace de Travail d'Homer

Add/Remove (Ajouter/Enlever)

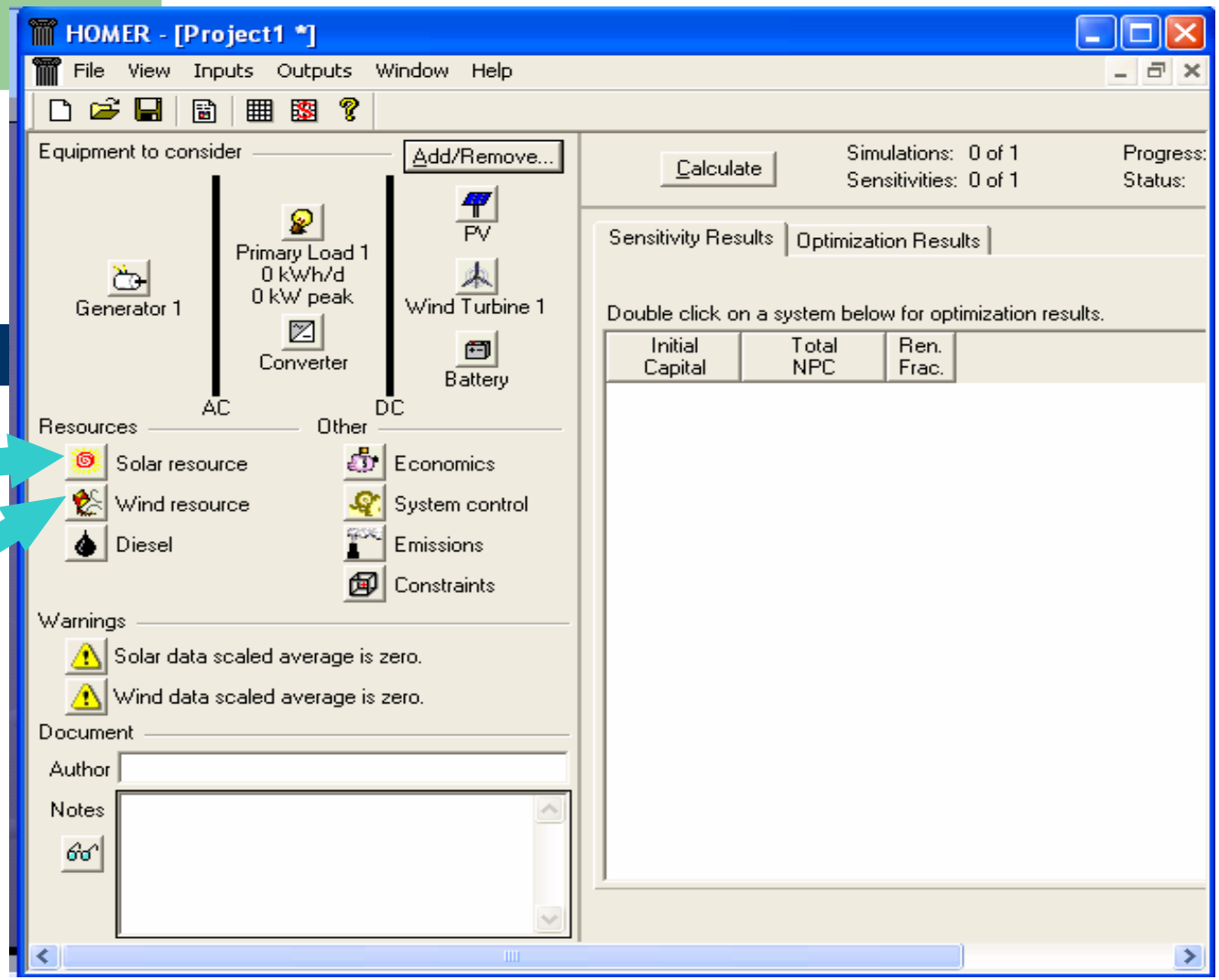


Sur cette fenêtre on effectue le choix des composants de notre système

Faites un double click sur chaque icône pour mettre les informations nécessaires

Potentiel solaire

Potentiel Éolien



Comment configurer le système ?

N’oublier pas de sauvegarder

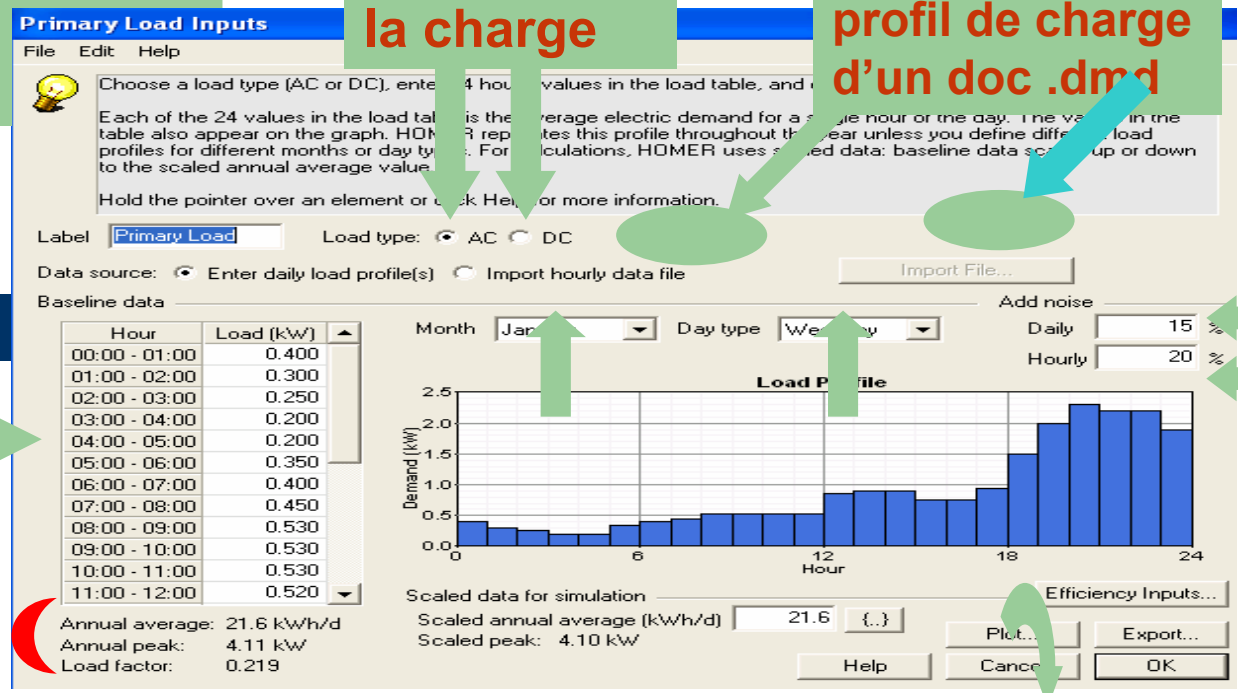
Caractérisation de la charge

Nature de la charge

Importer un profil de charge d'un doc .dmd

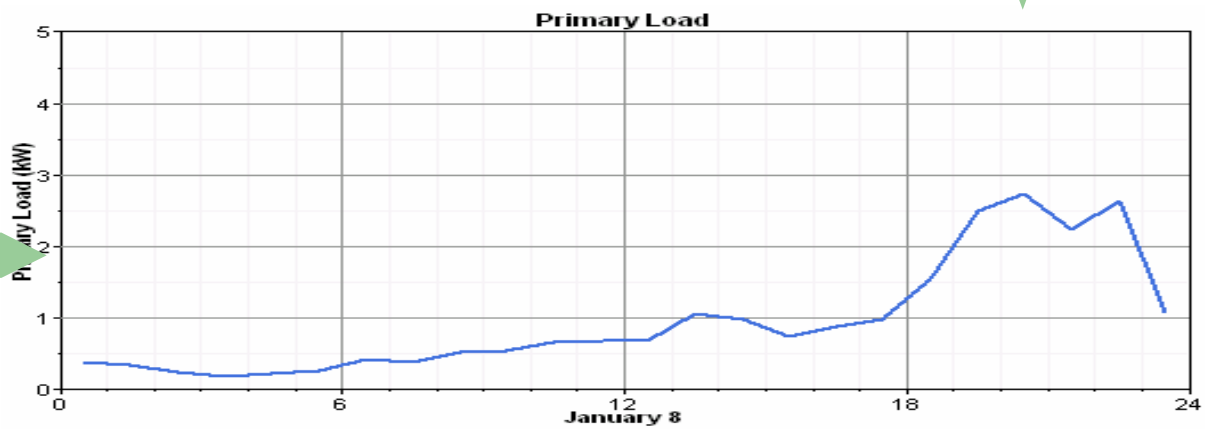
Cœf de Pert

Entrer les puissances unihoraires la charge

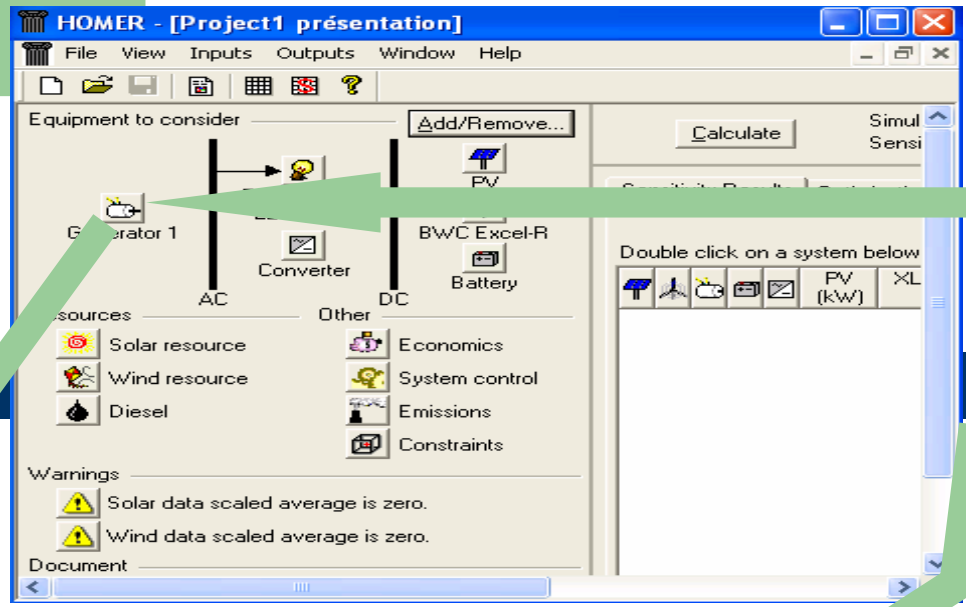


Hour	Load (kW)
00:00 - 01:00	0.400
01:00 - 02:00	0.300
02:00 - 03:00	0.250
03:00 - 04:00	0.200
04:00 - 05:00	0.200
05:00 - 06:00	0.350
06:00 - 07:00	0.400
07:00 - 08:00	0.450
08:00 - 09:00	0.530
09:00 - 10:00	0.530
10:00 - 11:00	0.530
11:00 - 12:00	0.520

Courbe de profil de charge journalière



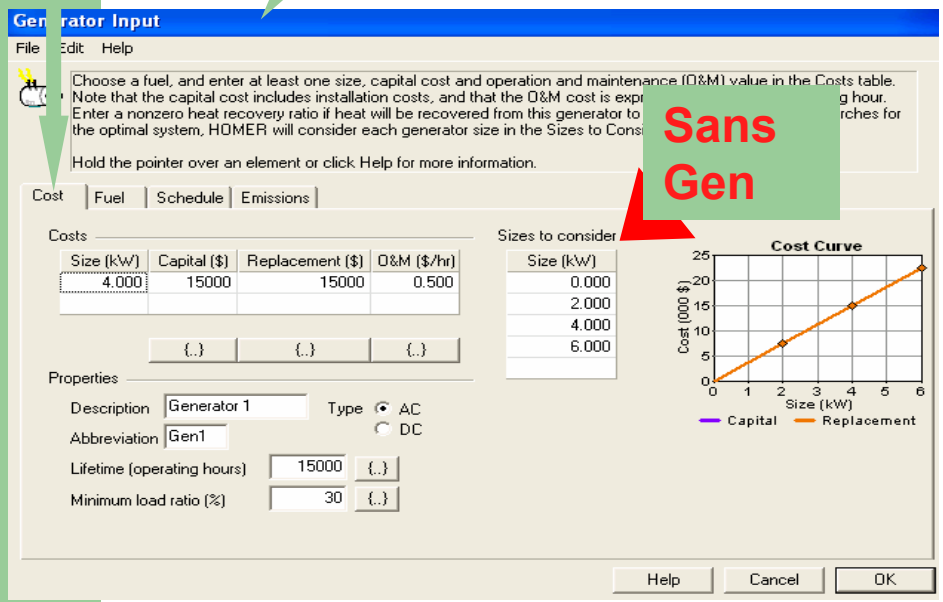
Configuration du Générateur diesel



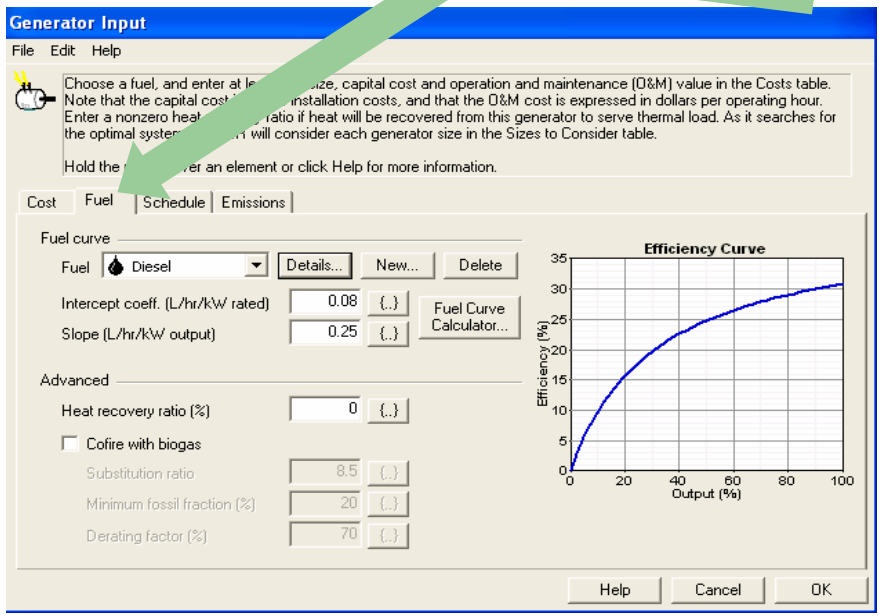
Générateur Diesel

Puissance du groupe

Combustible



Sans Gen



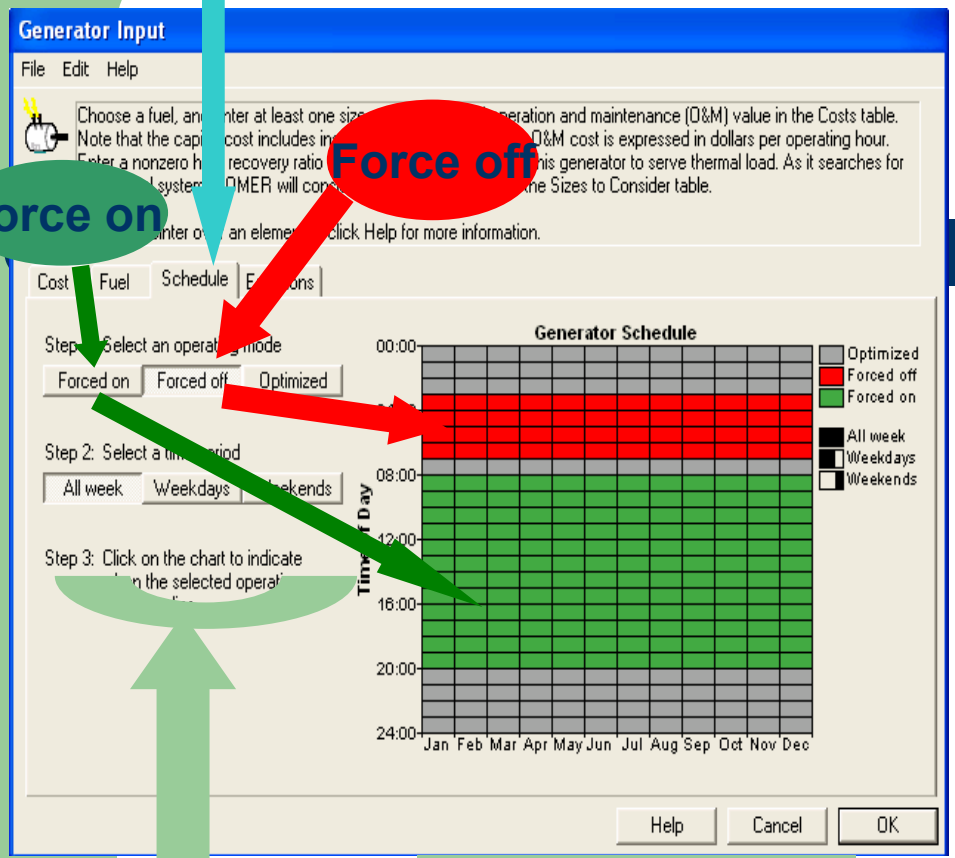
Schedule

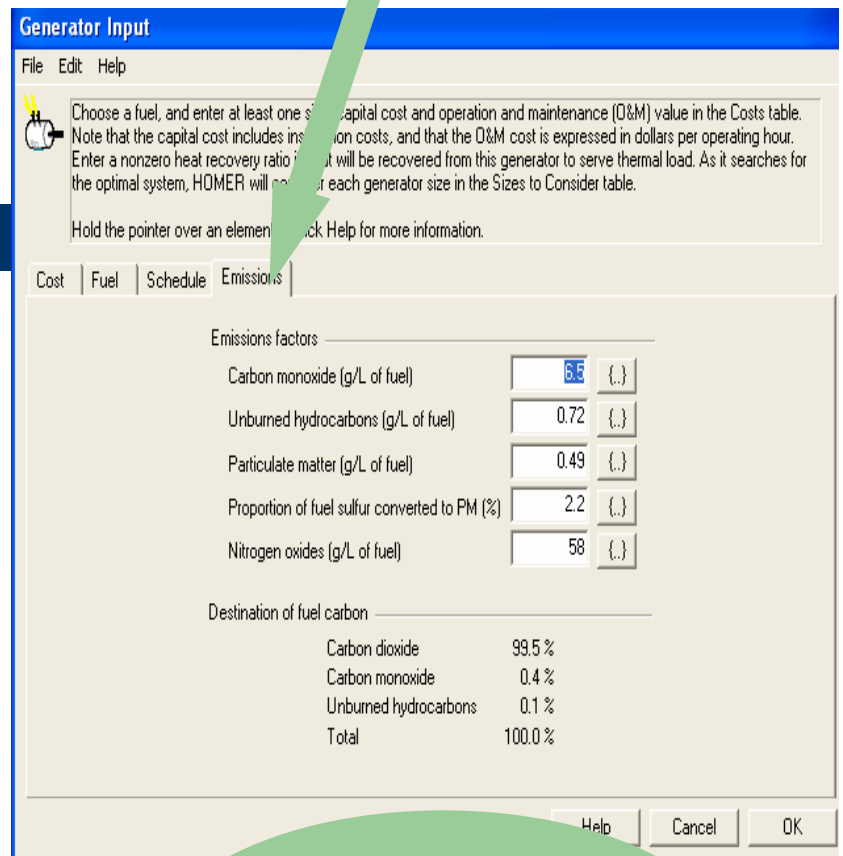
Fonctionnement du générateur

Émission de gaz

Force on

Force off



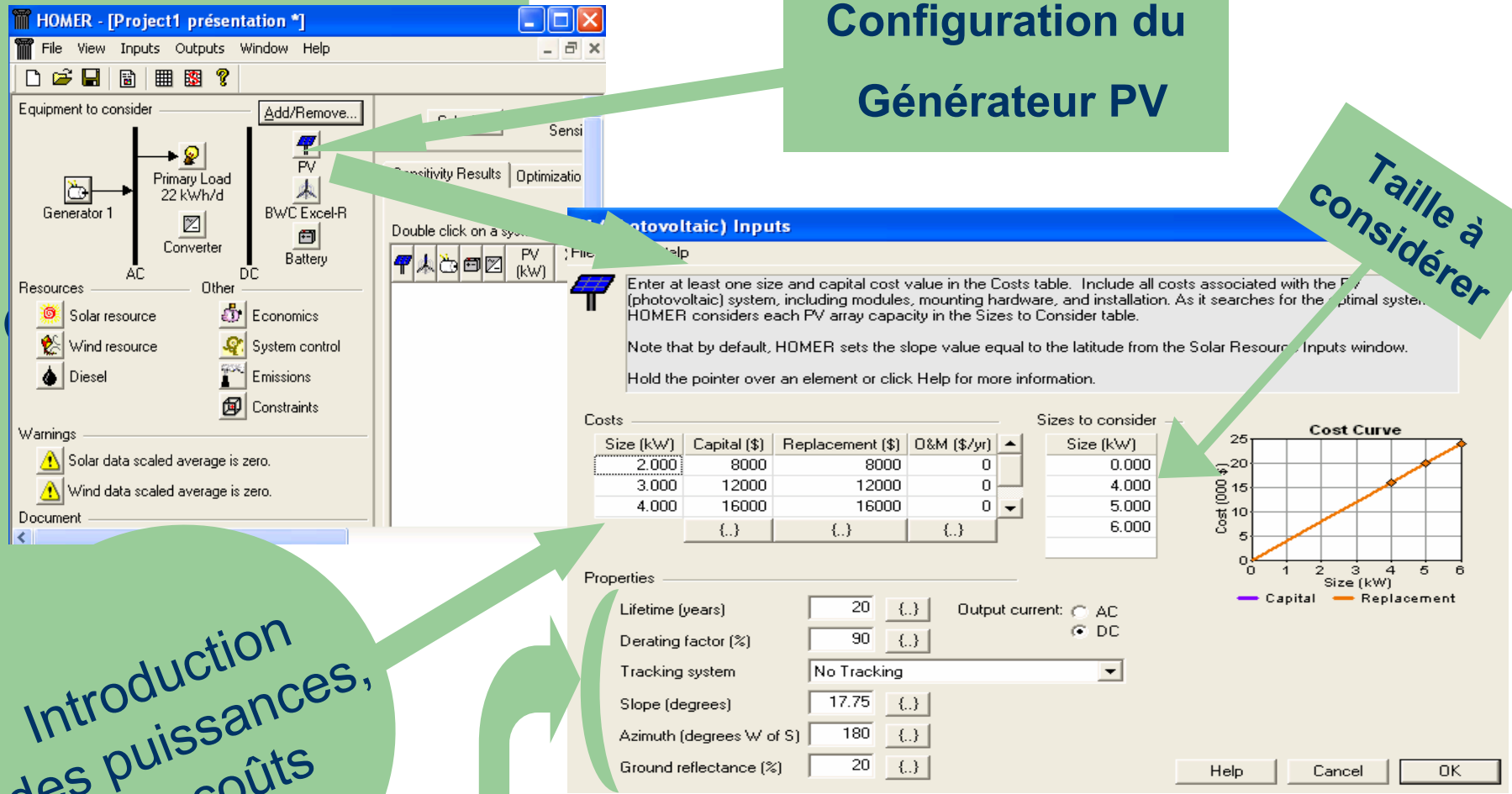


Choix des jours de la semaine

- ❖Jours ouvrables
- ❖Week-end
- ❖Jours fériés

Informations relatives À l'émission de gaz à effet de serre

Configuration du Générateur PV



Taille à considérer

Introduction des puissances, des coûts

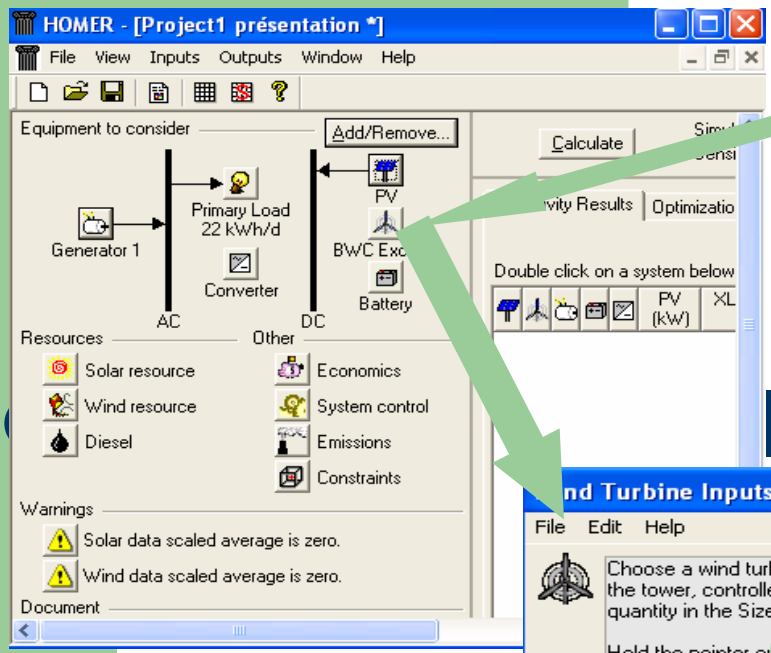
- ✓Durée de vie des panneaux
- ✓Coef. de perte du champ
- ✓Système fil du soleil
- ✓Inclinaison

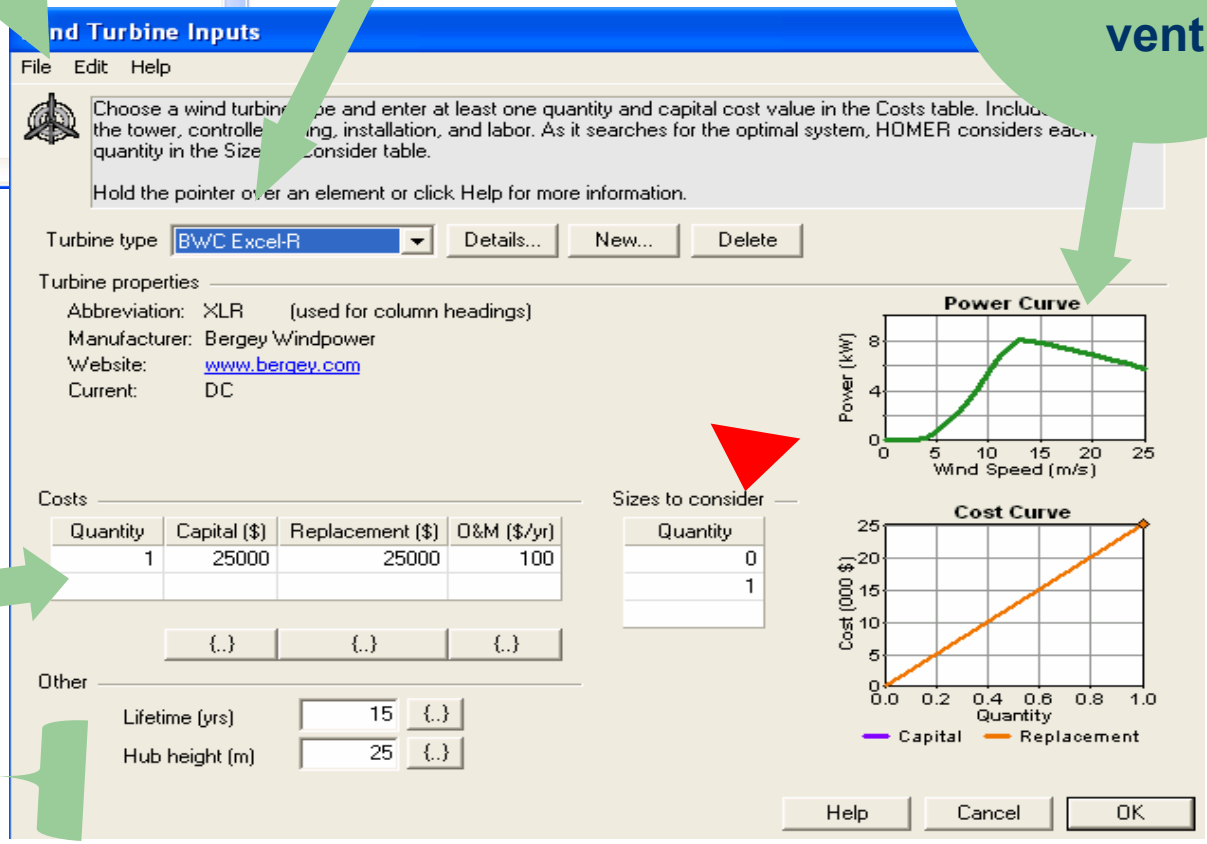
Configuration de l'aérogénérateur

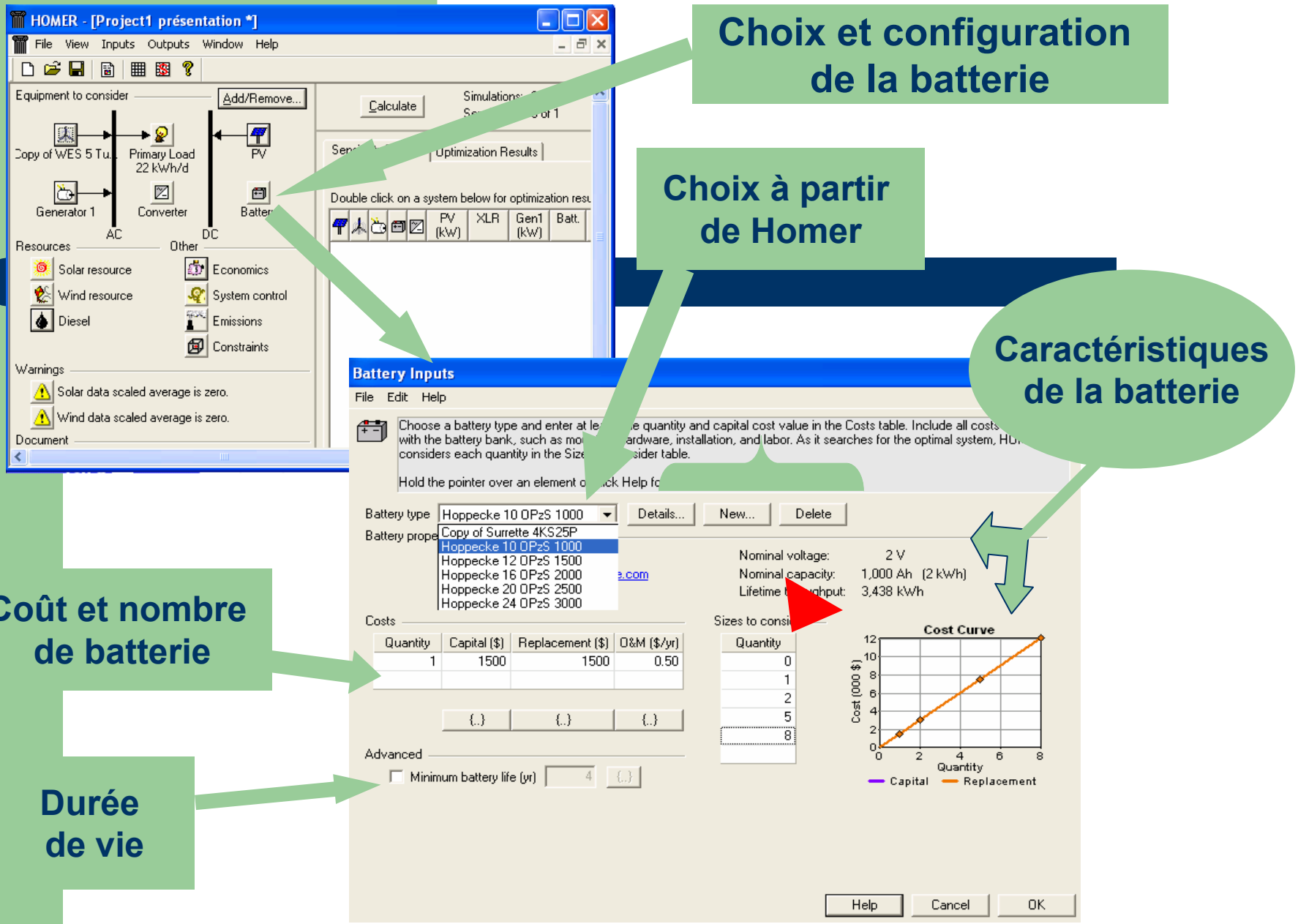
Choix dans la biblio d'Homer

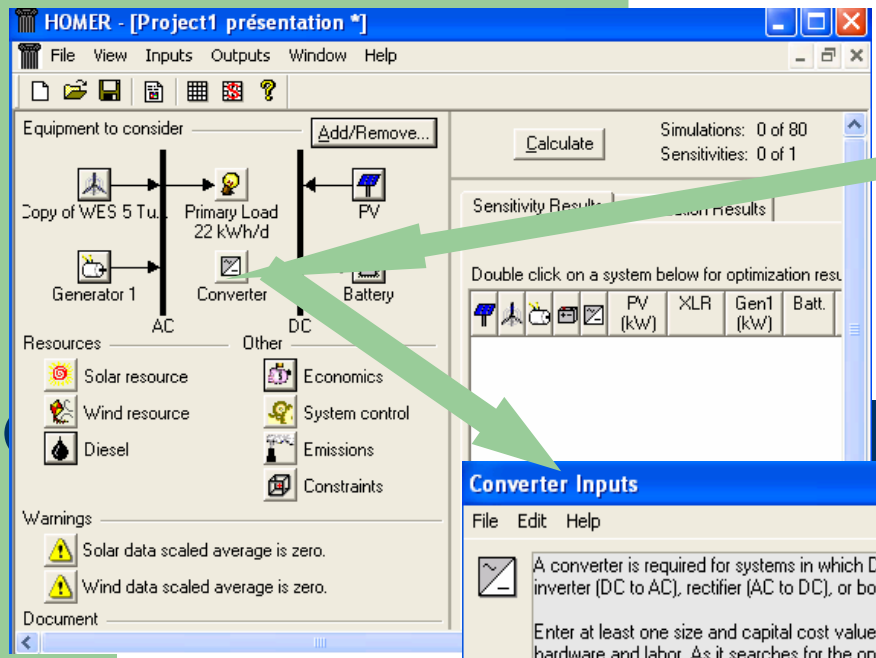
Caractéristique de l'éolienne Puiss-vitesse vent

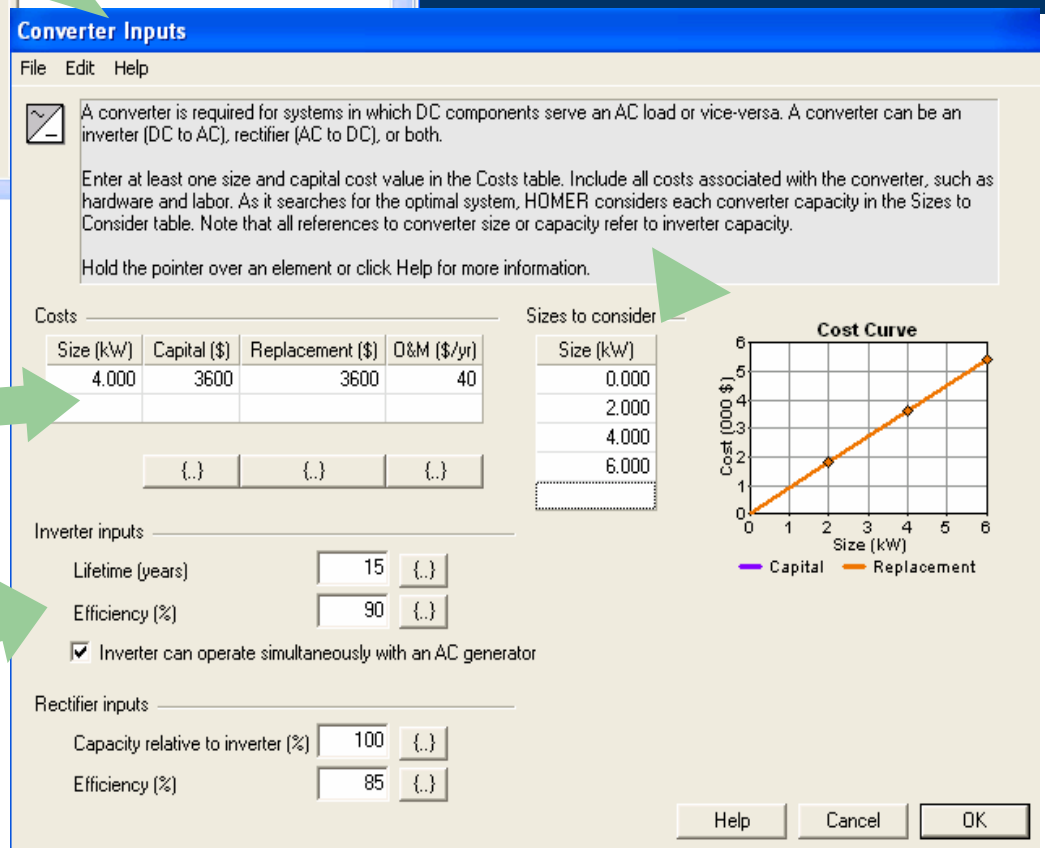
Information sur le coût et le nombre






Choix et configuration de la batterie
Choix à partir de Homer
Caractéristiques de la batterie
Coût et nombre de batterie
Durée de vie
HOMER - [Project1 présentation *]
File View Inputs Outputs Window Help
Equipment to consider
Add/Remove...
Calculate
Primary Load 22 kWh/d
PV
Generator 1
Converter
AC
DC
Resources
Other
Solar resource
Wind resource
Diesel
Economics
System control
Emissions
Constraints
Warnings
Solar data scaled average is zero.
Wind data scaled average is zero.
Document
Optimization Results
Double click on a system below for optimization resu
PV (kW)
XLR
Gen1 (kW)
Batt.
Battery Inputs
File Edit Help
Battery type
Hoppecke 10 OPzS 1000
Details...
New...
Delete
Copy of Surrette 4KS25P
Hoppecke 10 OPzS 1000
Hoppecke 12 OPzS 1500
Hoppecke 16 OPzS 2000
Hoppecke 20 OPzS 2500
Hoppecke 24 OPzS 3000
Nominal voltage: 2 V
Nominal capacity: 1,000 Ah (2 kWh)
Lifetime throughput: 3,438 kWh
Costs
Quantity
Capital ($)
Replacement ($)
O&M ($/yr)
1
1500
1500
0.50
Sizes to consi
Quantity
0
1
2
5
8
Cost Curve
Cost (000 $)
Quantity
Capital
Replacement
Advanced
Minimum battery life (yr)
Help
Cancel
OK





Configuration du convertisseur

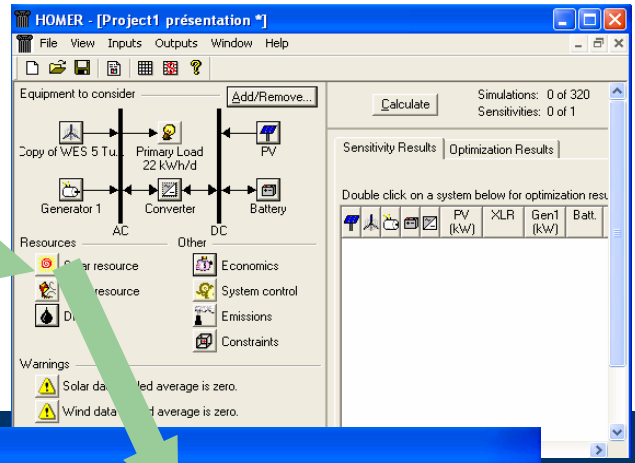
- Conversion CC/CA
- Conversion CA/CC

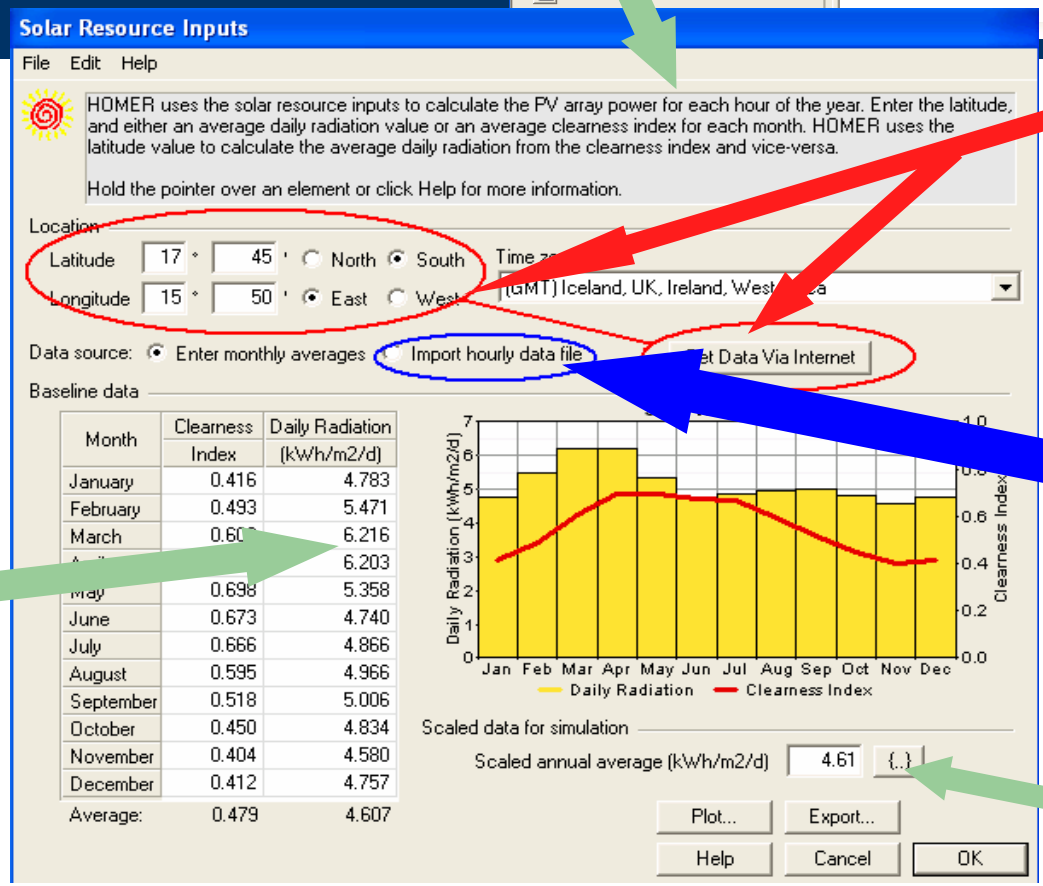
Puissance, Coût

Durée de vie Rendement

Assurer un transfert optimal d'énergie entre le deux bus

Introduction des données potentielles solaires





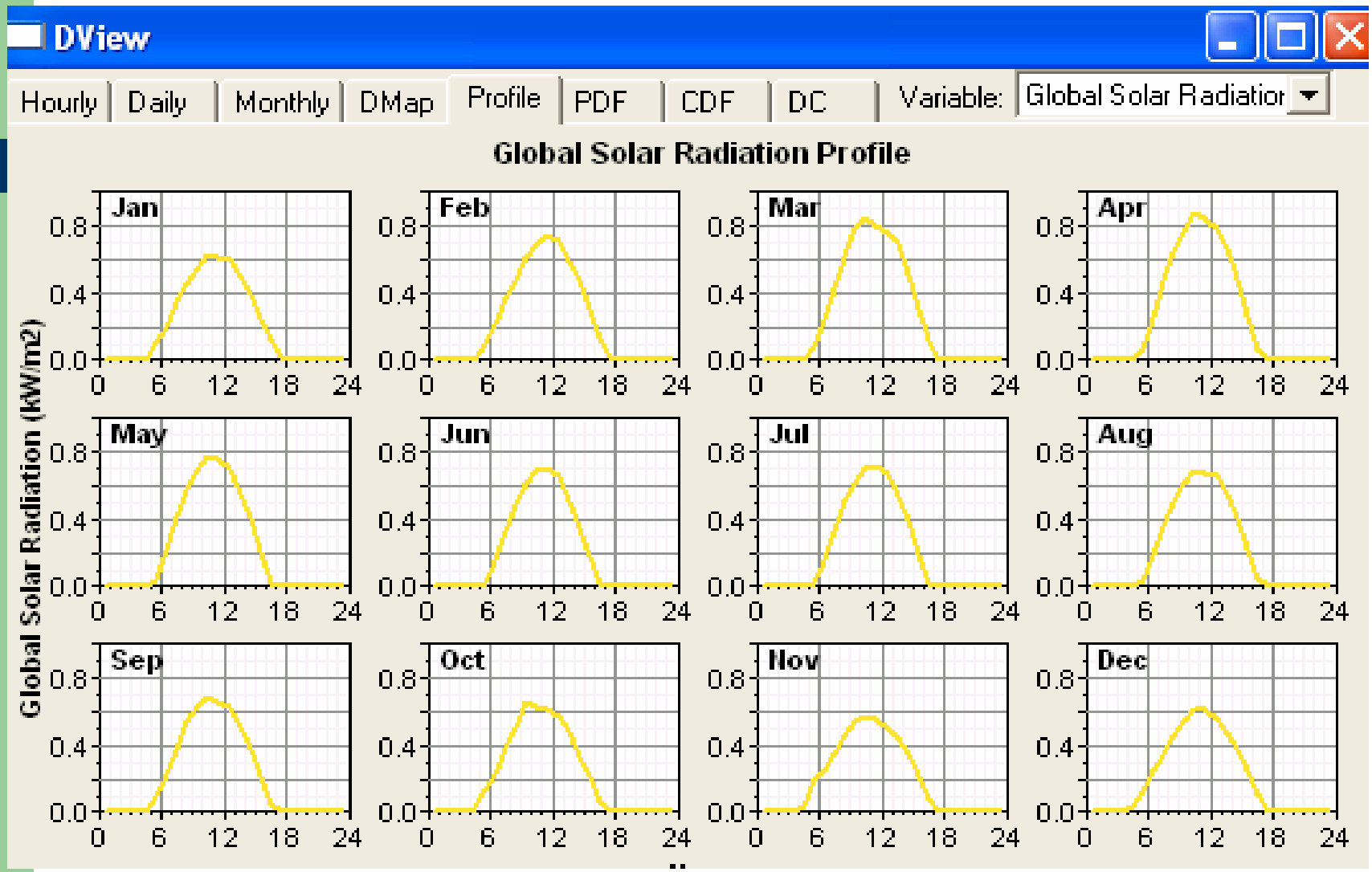
Localisation par Internet (Données NASA)

Importer un fichier prés charger

Saisir directement les valeurs moyennes du potentiel

Moyenne de la Radiation solaire journalière

Profil du Rayonnement solaire journalier

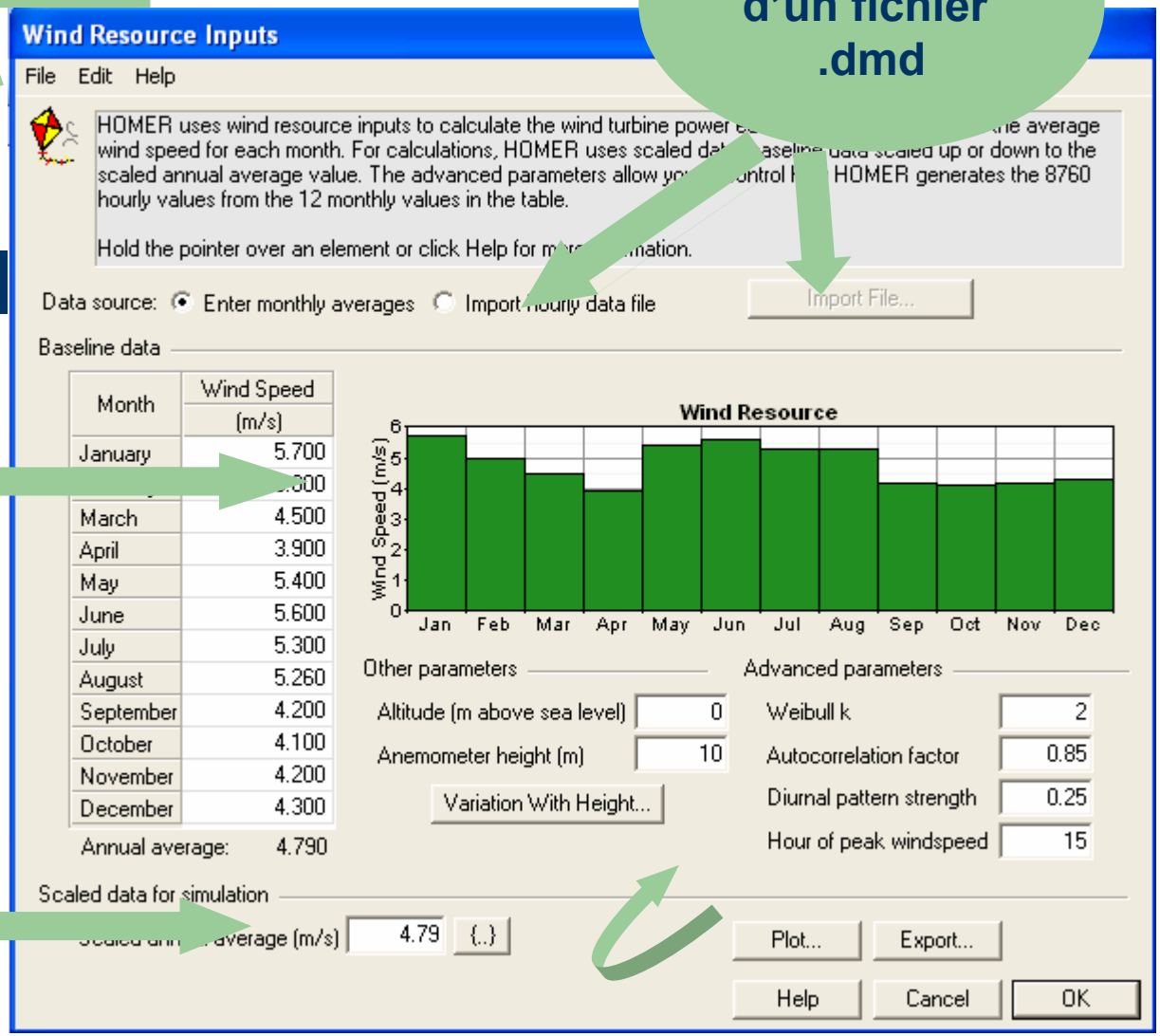


Données Vents

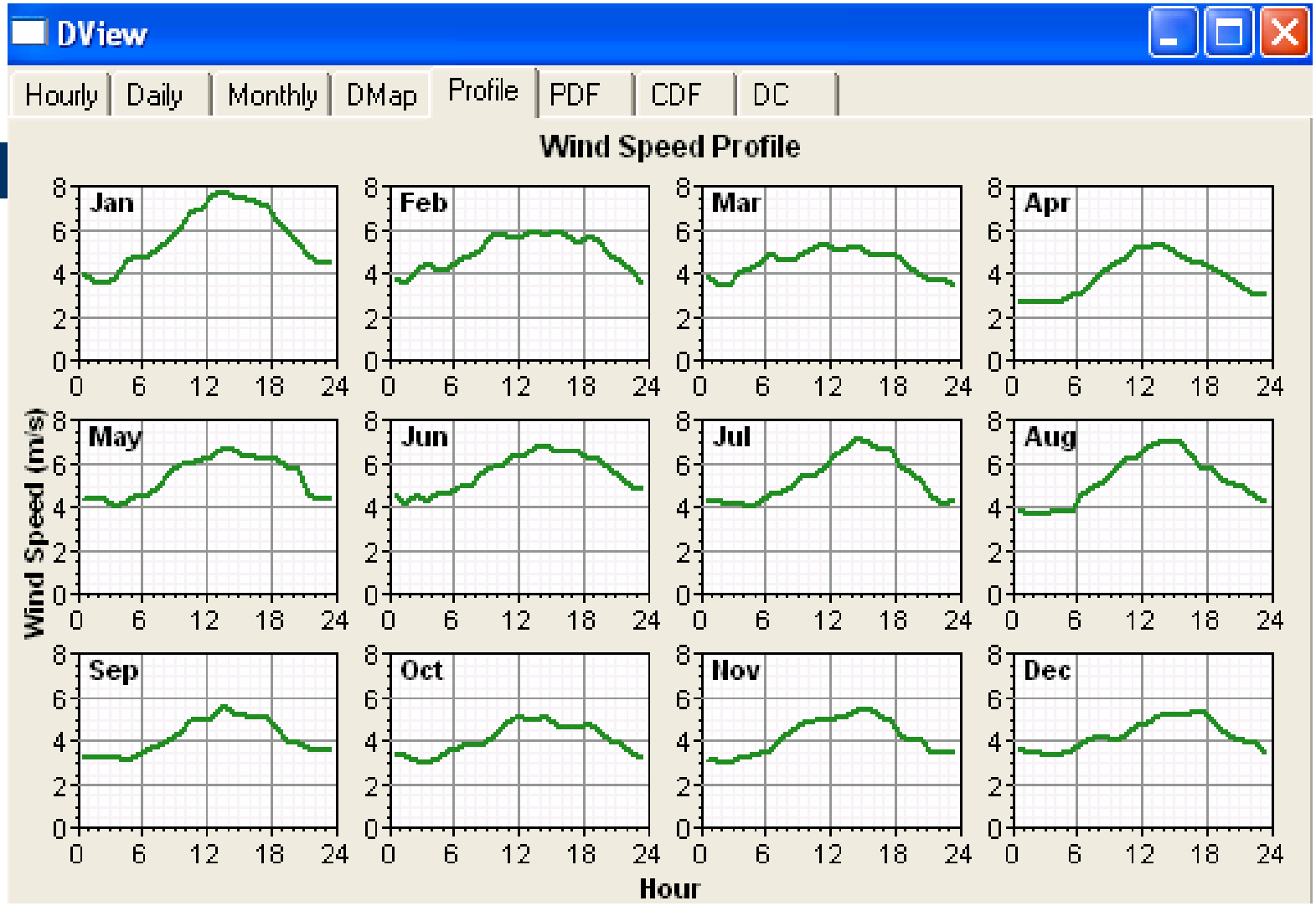
Importer à partir d'un fichier .dmd

Saisi des valeurs de la vitesse du vent (moyenne Mensuelle)

moyenne Mensuelle annuelle



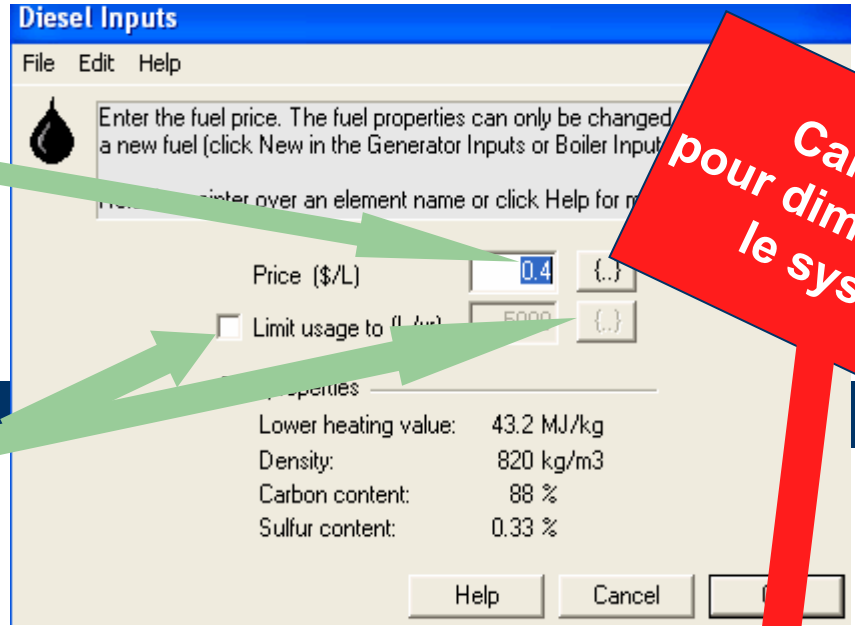
Profil journalier du vent



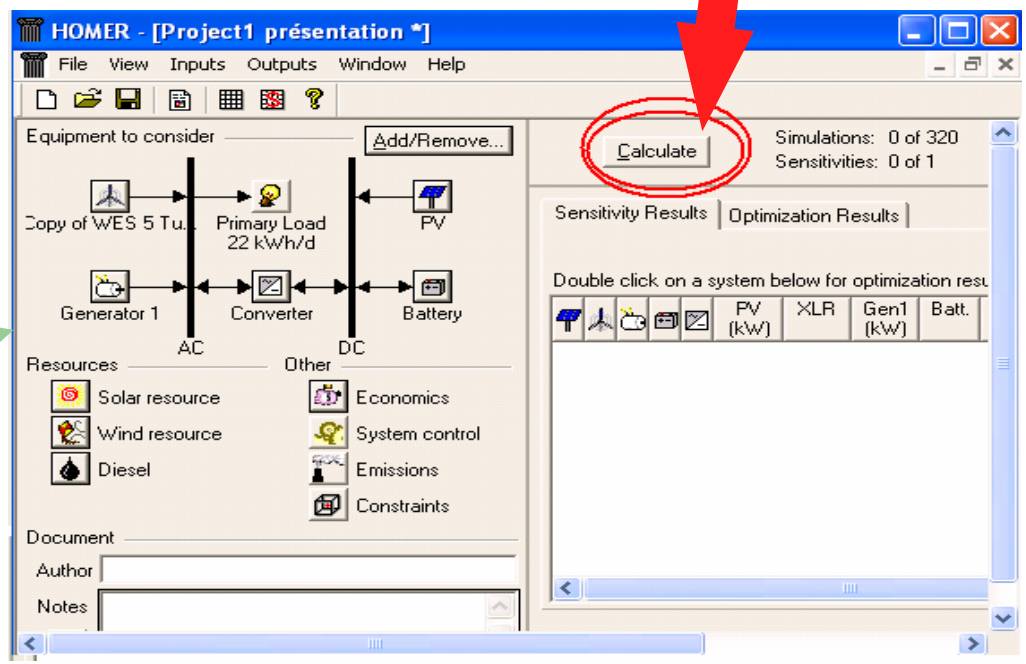
Prix du litre de carburant

La quantité annuelle maximale susceptible d'être Consommé en L

Configuration du Système étudié



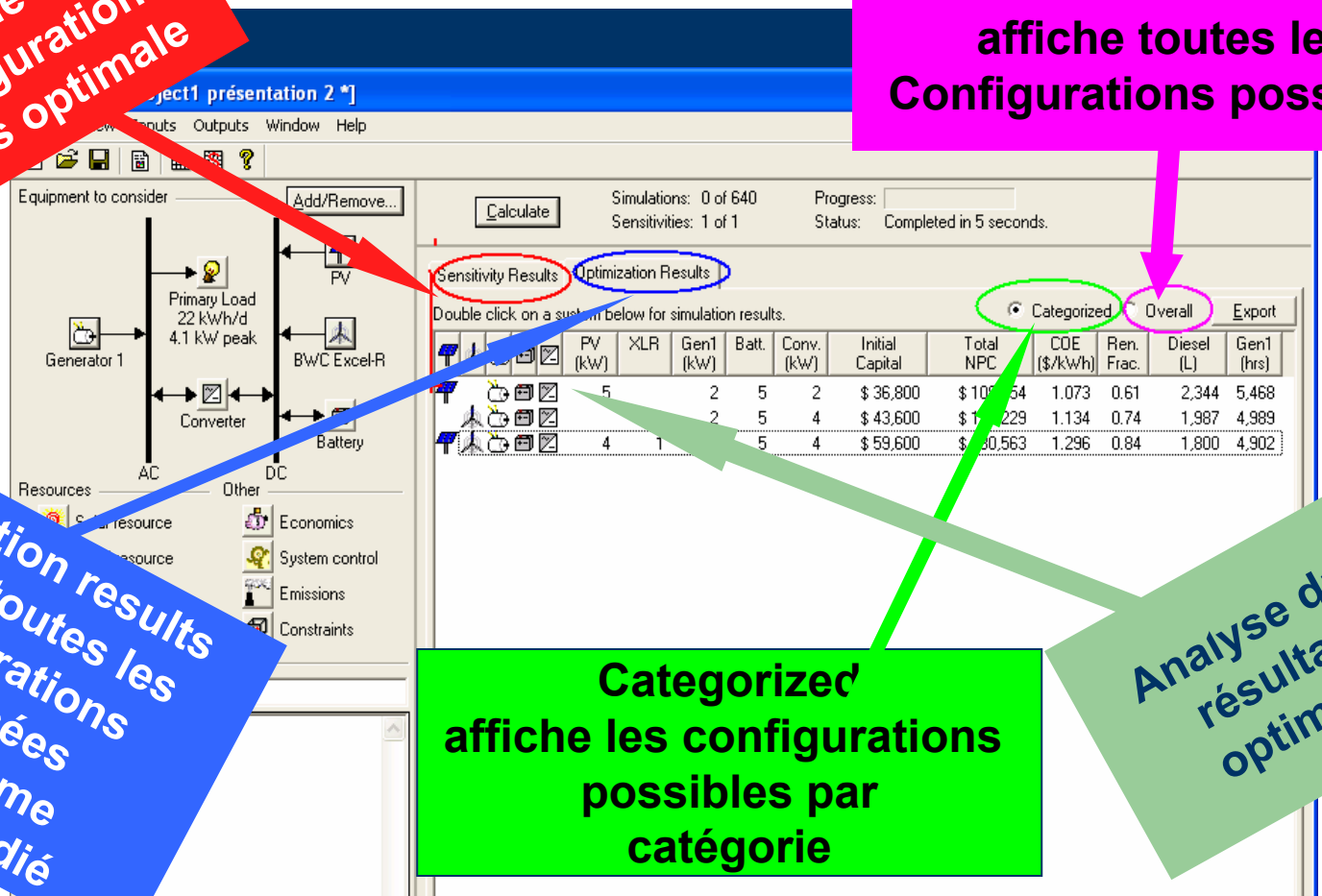
Calculate pour dimensionner le système



Résultats du dimensionnement (Simulation du fonctionnement de notre système)

Sensitivity results affiche la configuration la plus optimale

overall affiche toutes les Configurations possibles



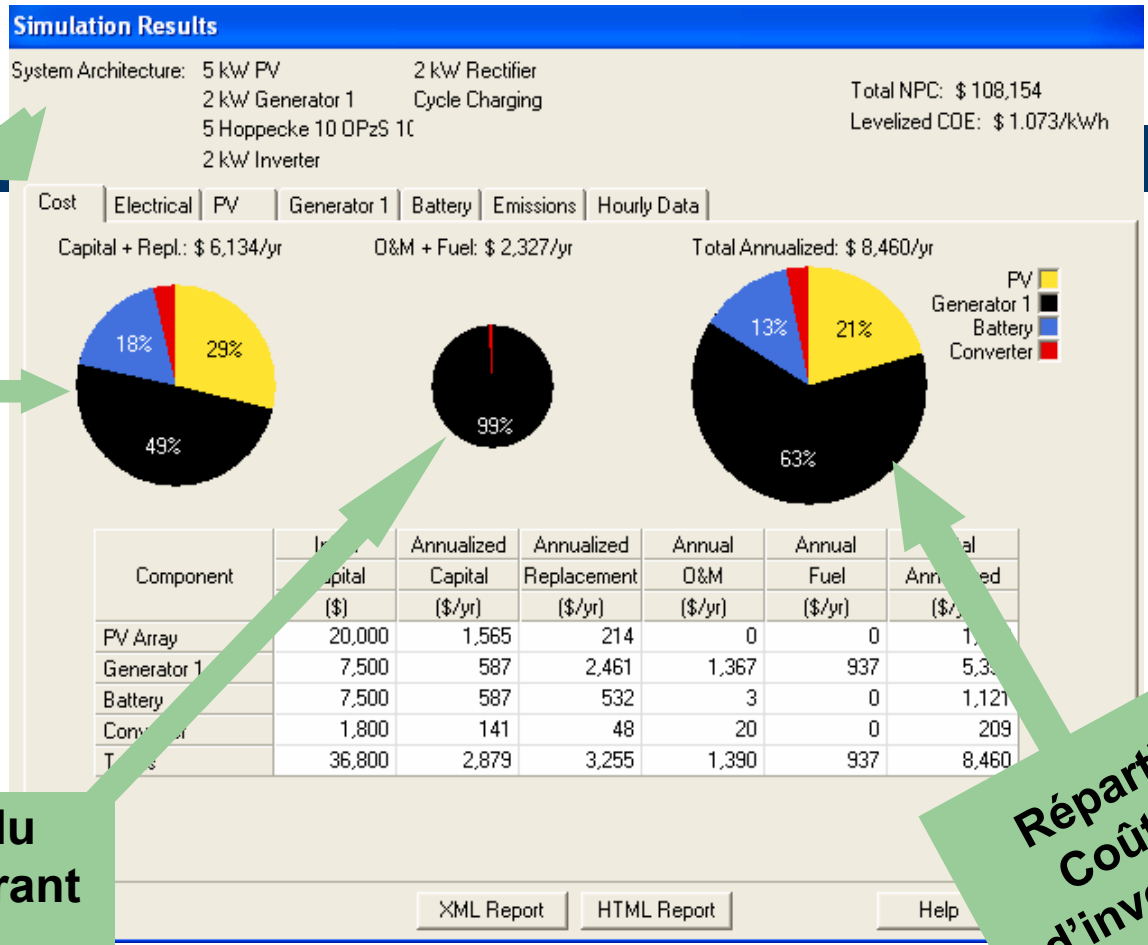
Optization results affiche toutes les Configurations optimisées du système hybride étudié

Categorized affiche les configurations possibles par catégorie

Analyse du résultat optimal

Commentaire sur la configuration la plus optimale

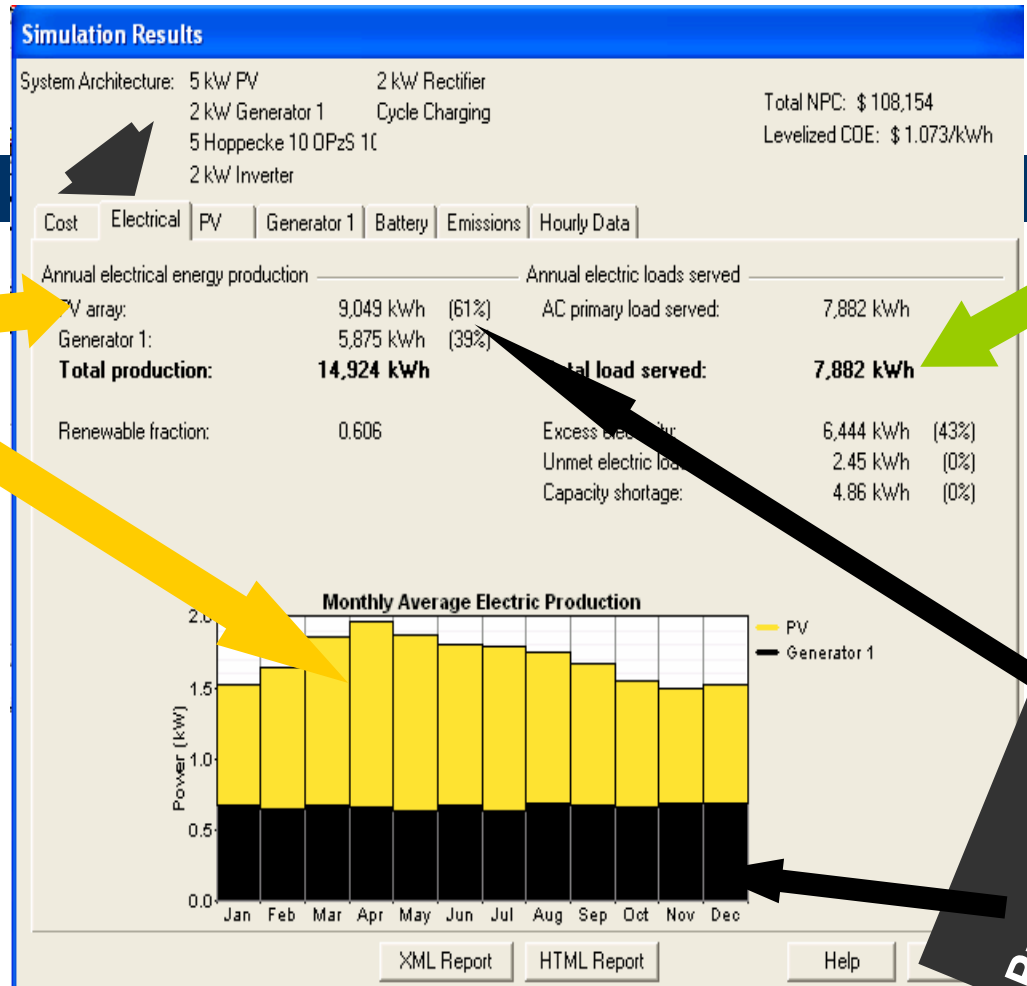
Le capital annualisé et les coûts de remplacement annuel



Répartition du Coût du carburant annuel et la maintenance

Répartition du Coût annuel d'investissement

Répartition de la production
De l'énergie par les source

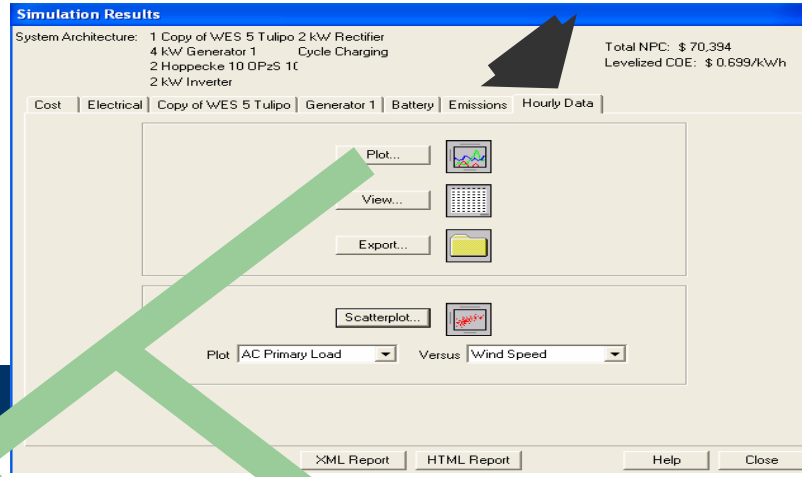


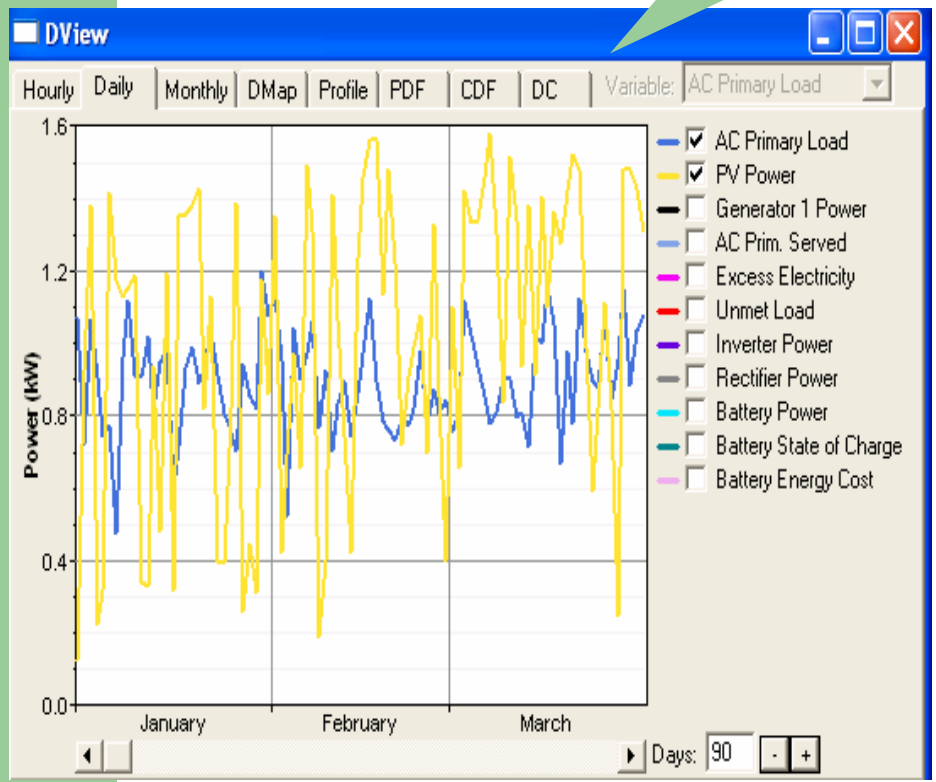
Puissance fournie par le générateur PV

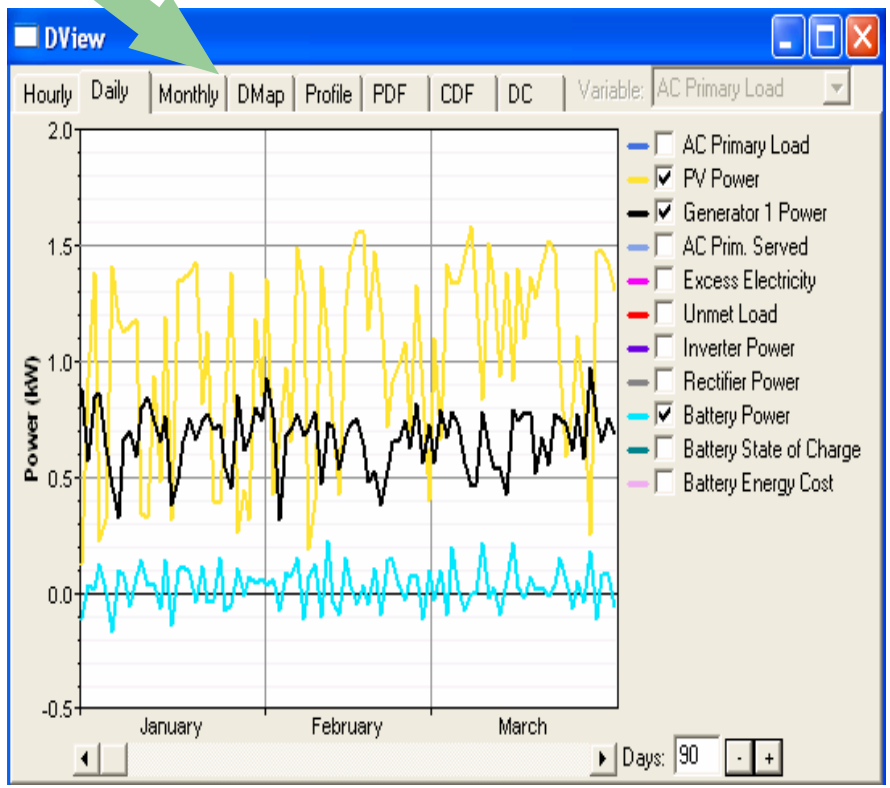
Production annuelle

Puissance fournie Par le groupe diesel

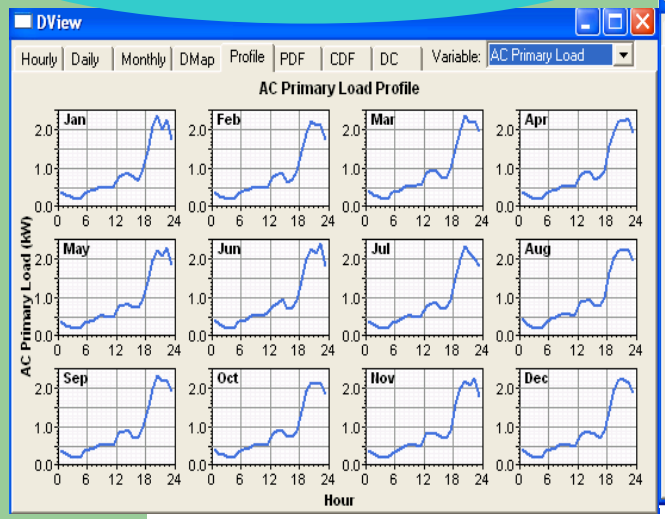
Analyse de la production d'énergie et de sa consommation



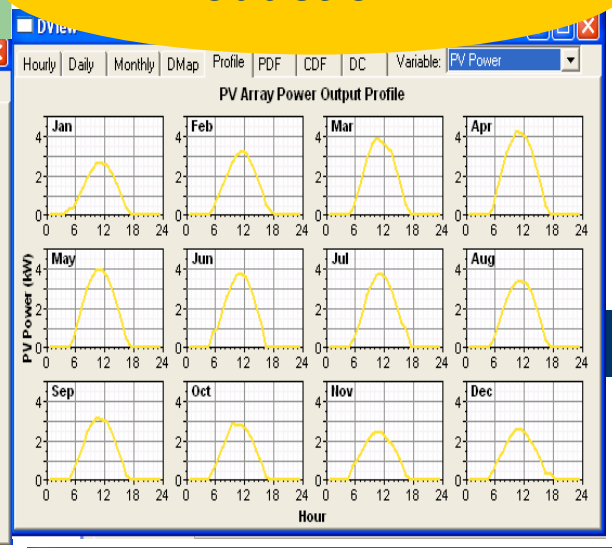




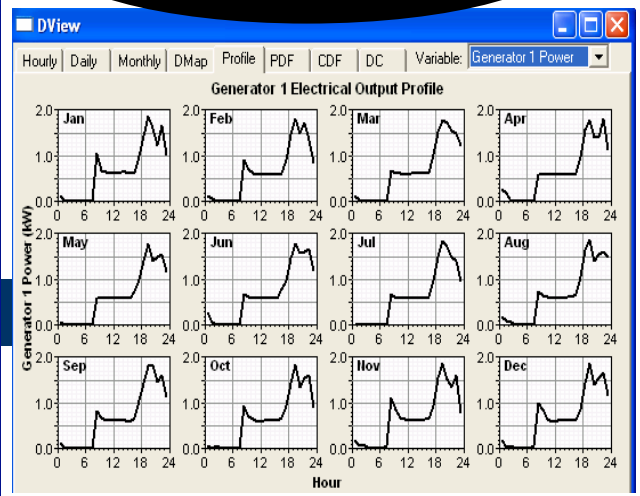
Profil de charge

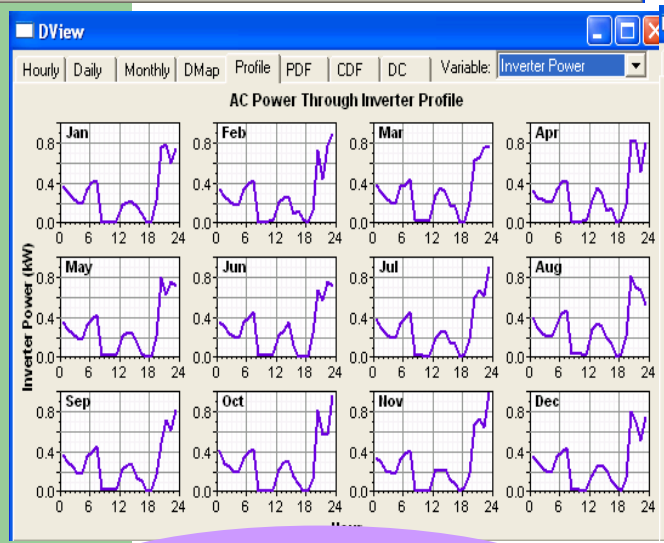


Production PV

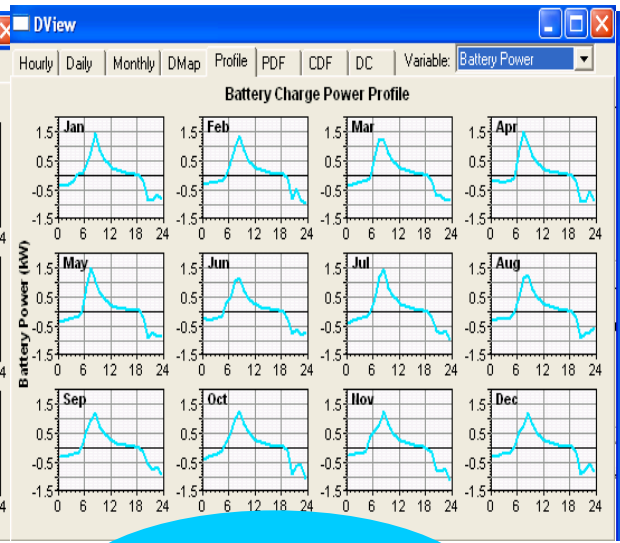


Production du GD

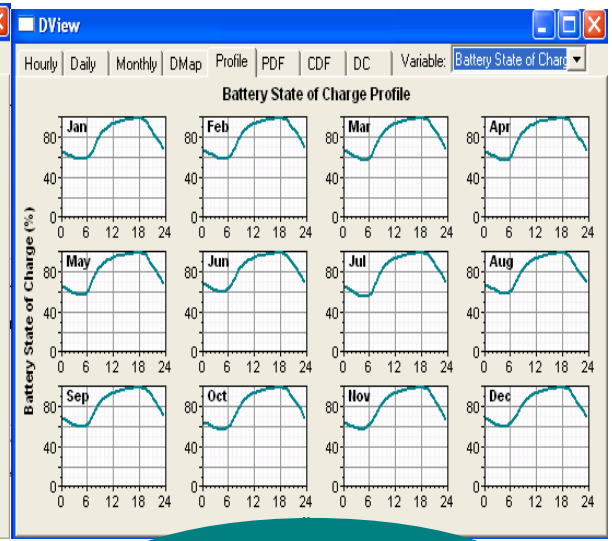




Puissance dans le convertisseur



Puissance de la batterie



État de charge la batterie

Présentation du LER/ESP/UCAD

Merci de votre attention

Gustave SOW (776545540) et El hadji SYLLA(775316485)

gsow@ucad.sn et syllaelhadji@yahoo.fr